



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO - CTC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO -
PósARQ

Luciana Mota Beck

**Parâmetros reguladores da forma urbana e disponibilidade de luz natural em
ambientes internos**

Florianópolis

2020

Luciana Mota Beck

**Parâmetros reguladores da forma urbana e disponibilidade de luz natural em
ambientes internos**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Arquitetura e Urbanismo da Universidade
Federal de Santa Catarina para a obtenção do
título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo
Orientador: Prof. Fernando O. Ruttkay Pereira,
PhD.
Coorientadora: Profa. Veridiana Atanasio Scalco,
Dra.

Florianópolis

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Beck, Luciana Mota

Parâmetros reguladores da forma urbana e disponibilidade de luz natural em ambientes internos / Luciana Mota Beck ; orientador, Fernando O. Ruttkay Pereira , coorientadora, Veridiana Anatasio Scalco , 2020.

254 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Arquitetura e Urbanismo. 2. Luz Natural. 3. Formas Urbanas. 4. Geometria da edificação. I. , Fernando O. Ruttkay Pereira. II. , Veridiana Anatasio Scalco. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo. IV. Título.

Luciana Mota Beck

Parâmetros reguladores da forma urbana e disponibilidade de luz natural em ambientes internos

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Benamy Turkienicz, PhD.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Prof.(a) Solange Maria Leder, Dr.(a)

Universidade Federal da Paraíba - UFPB

Prof. Renato Saboya, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de doutor em Arquitetura e Urbanismo.

Prof. Paolo Colosso

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Fernando O. Ruttkay Pereira, PhD.

Orientador

Florianópolis, 2020

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Fernando O. Ruttkay Pereira e minha co-orientadora Veridiana Atanasio Scalco, pela experiência, conhecimento e carinho transmitidos durante todos esses anos da realização da tese.

Ao professor Benamy Turkienicz, pelas reuniões que foram fundamentais para o andamento dessa pesquisa, e ao Renato Silveira, no aprendizado do programa *CityZoom*.

Ao professor Anderson Claro, pela ajuda com o programa computacional *Apolux*.

Ao professor Renato Saboya, pelos esclarecimentos de dúvidas da área do urbano e à Catharina Cavasin, pela realização dos mapas no programa *Qgis*.

Às professoras Soraya Nor e Beatriz Nozari Ribeiro de Carvalho, que me acompanham desde a graduação, incentivando-me a continuar na área acadêmica.

À Adriana Cardoso Vieira e Mariany Cristine Souza, pelas informações importantes e ajuda na preparação dos documentos necessários para a finalização da tese.

Ao Pedro Oscar Pizzetti Mariano, pelo suporte na programação dos cenários utilizados na pesquisa através do *Rhinoceros*, plug-in *Diva* e *Grasshopper*.

Aos membros da banca, Solange Leder, Benamy Turkienicz e Renato Saboya, pela disponibilidade na participação da banca de qualificação e na defesa da tese.

À minha família, pelo suporte que proporciona à minha vida.

Aos integrantes do grupo de pesquisa LabCon/PósARQ/UFSC – Laboratório de Conforto Ambiental, pelo auxílio no desenvolvimento da pesquisa.

Aos meus queridos amigos, pelo incentivo e encorajamento.

À CAPES/DS, pelo recurso financeiro aplicado em forma de bolsa de doutorado.

RESUMO

As formas são criadas a partir das diversas combinações urbanas e diferentes disposições entre as edificações, que influenciam na disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes. A maior flexibilidade na composição permite maior afastamento e diversifica a relação entre os espaços abertos e os espaços construídos. Entretanto, as regras urbanas utilizadas limitam a criação arquitetônica, ao mesmo tempo que podem não ser suficientes para garantir o desempenho suficiente de luz natural. Diante disso, esta tese propõe critérios de controle do desempenho da luz natural, a serem utilizados em conjunto com índices urbanos tradicionais para avaliar a disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes. Para a pesquisa foram analisadas as tipologias de bloco isolado no lote e quatro diferentes tipologias em quadras urbanas: blocos isolados – M1; ocupação perimetral – M2; edificações laminares paralelas – M3; e tipologia híbrida de blocos isolados com 1º e 2º pavimentos diferenciados – M4. Os cenários constituídos por estas tipologias, foram criados combinando índice de aproveitamento – IA e taxa de ocupação - TO, e gabarito, e correlacionados com o desempenho da Autonomia Espacial da Luz Natural – $sDA_{300,50\%}$, para a cidade de Florianópolis (latitude de 27°), no diagrama *Spacemate*. Como estratégia da pesquisa, foi considerado o mesmo pavimento de análise – Pa (1º Pa sendo igual ao último pavimento da edificação e assim sucessivamente), para avaliar cenários de diferentes gabaritos. Como resultados do estudo do lote, pelo menos 50% dos pavimentos atendidos foram encontrados nos cenários de gabaritos 2 ao 13 (TO=30%), 2 ao 9 (40%), 2 ao 7 (50%), 2 ao 5 (60%) e 2 e 3 (70% e 80%), considerando o valor de $sDA \geq 45\%$. Em relação às quadras, foram encontrados resultados com diferenças de até 40% entre as diferentes tipologias analisadas, constatando-se que não se trata de identificar a melhor tipologia, mas verificar a combinação de parâmetros urbanos mais favorável à disposição de luz natural, em determinadas condições. Em sequência, foi analisado o índice de espaço aberto – OSR, que relaciona a área construída total com a área aberta, tendo sido confirmado desempenho satisfatório, em todos os cenários que computaram valor $\geq 0,2$. E, por fim, o menor valor satisfatório de sDA de cada Pa, igual a 45%, foi correlacionado com o ângulo de obstrução vertical e a porcentagem de céu visível, possibilitando definir valores máximos e mínimos, respectivamente, para cada condição. Na TO=40% a 49%, os valores do ângulo de obstrução vertical e a porcentagem de céu visível, devem ser $\geq 50^\circ$ e $\leq 29\%$ (valor computado no 5º Pa) no M1; $\geq 49^\circ$ e $\leq 23\%$ (6º Pa) no M3; e $\geq 63^\circ$ e $\leq 23\%$ (9º Pa) no M4. No M2, que se iniciou na TO=50% a 59%, os resultados foram $\geq 38^\circ$ e $\leq 26\%$ (7º Pa). Com base nos resultados da pesquisa, é possível testar diferentes disposições e geometrias, para investigar maneiras de aumentar os afastamentos entre edificações, para se obter desempenho satisfatório em cada pavimento, combinando índices normativos e performativos. Diante dos aspectos estudados na pesquisa, sugere-se não estabelecer valores máximos de gabarito e TO, mas limitar a forma urbana, através do IA máximo, associado a um valor mínimo de OSR, e dos afastamentos máximos. Desta forma, a TO e o gabarito continuariam sendo controlados, mas com maior autonomia. Cada projeto tem suas especificidades, e por isso, não há razão, de serem ordenados por regras genéricas. A utilização do desempenho performativo proporciona uma maior variedade da forma urbana, possibilitando, com o mesmo potencial construtivo, aumentar a disponibilidade de luz natural no interior do ambiente construído.

Palavras-chave: Luz Natural. Formas Urbanas. Geometria da edificação.

ABSTRACT

The urban forms are created by the diverse combination and different dispositions among buildings, which influence the availability of daylight inside the environments. A greater flexibility in composition allows a bigger distance and it diversifies the relationship between open spaces and built spaces. However, the used urban rules limit the architectural creation, at the same time as they may not be sufficient to guarantee the adequate daylight performance. Therefore, the present thesis proposes criteria for controlling the performance of daylight, these to be used along with traditional urban indices to guarantee and evaluate the availability of daylight inside the environments. In this research, the isolated tower typologies in the lot, and other four different typologies in urban blocks were analyzed: tower block – M1; perimeter block – M2; slab block – M3, and hybrid typology of isolated blocks with differentiated 1st and 2nd floors – M4. The scenarios constituted by these typologies were created by combining Floors Space Index – FSI, Ground Space Index – GSI, and number of floors, and correlating with the performance indexes (Spatial Daylight Autonomy - sDA_{300,50%}, for the city of Florianópolis (27° latitude), in Spacemate. As a research strategy, the same analysis floor – Pa (1st Pa is the same as the last floor of the building and so on) was considered while evaluating scenarios of different floors. As a result of the lot's study, at least 50% of the floors accomplished were found in the scenarios of floors 2 to 13 (GSI=30%), 2 to 9 (40%), 2 to 7 (50%), 2 to 5 (60%) and 2 and 3 (70% e 80%), considering the value of sDA_{≥45%}. Regarding the blocks, differences of up to 40% between the different typologies analyzed were found, recognizing that it is not a question of identifying the best typology, but of verifying the combination of urban parameters, which are, in certain conditions, more favorable to the provision of daylight. Furthermore, the Open Space Ratio – OSR, related to the total built area to the open area, was analyzed and a satisfactory performance was confirmed in all the scenarios that computed a value ≥ 0.2 . Finally, the lowest satisfactory sDA value of each Pa, equal to 45%, was correlated with the vertical obstruction angle and the percentage of visible sky, making it possible to define the maximum and minimum values, respectively, for each condition. At GSI=40% to 49%, the values of the vertical obstruction angle and the percentage of visible sky must be $\geq 50^\circ$ and $\leq 29\%$ (value computed in the 5th Pa), in M1; $\geq 49^\circ$ and $\leq 23\%$ (6th Pa) in M3; and $\geq 63^\circ$ and $\leq 23\%$ (9th Pa) in M4. In M2, which started at GSI=50% to 59%, the results were $\geq 38^\circ$ and $\leq 26\%$ (9th Pa). Thus, considering the results of the study, it is possible to test different layouts and geometries of a given scenario, to investigate ways of increasing the space between buildings, so a satisfactory clearance performance on each floor is obtained, combining normative and performative indices. In the light of the aspects studied in the research, it is suggested to not establish maximum values for GSI and floors. Thus, the limitation of the urban form would be performed by the maximum FSI, associated with a minimum value of OSR, and maximum distances between buildings. Thus, GSI and floors would continue to be controlled, however with greater autonomy. Each project has its specificities, and therefore, there is no reason for it to be sorted by generic rules. The use of performative performance provides a greater variety of urban form, making possible, with the same constructive potential, to increase the availability of daylight within the built environment.

Keywords: Daylight. Urban Forms. Building geometry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Quadro resumo da proposta	29
Figura 2 – Edifícios altos – São Paulo (a) e Rio de Janeiro (b).....	32
Figura 3 – Volumes construídos e espaços livres dos volumes edificadas	33
Figura 4 - Escala Urbana	35
Figura 5 – Tipologias de quadras	36
Figura 6 – Diferentes formas urbanas: (a) uniforme, (b) pirâmide e (c) híbrida.....	39
Figura 7 – Spacemate	41
Figura 8 – Diferença entre DA e sDA	46
Figura 9 – Ângulo Vertical do Céu	49
Figura 10 – Formato em “S” – o edifício Copan (a) e o conjunto Pedregulho (b).....	54
Figura 11 – Relação entre W e V	54
Figura 12 – Amoy Garden (a), Torres Marina City (b) e Edifício Keeling House (c) ...	55
Figura 13 – Geometria de diferentes edificações e leiautes internos	56
Figura 14 – Correlação das geometrias e o leiaute de circulação central (f).....	56
Figura 15 – Tipologias analisadas no estudo.....	57
Figura 16 – Diferentes aberturas de mapa de iluminância horizontal e mapa de luminância	58
Figura 17 – Tipologias de NYC – Simulação da tipologia e variações (double alley) ..	61
Figura 18 – Resultados de desempenho das tipologias analisadas.....	61
Figura 19 – Seis padrões de tipo de construção urbana tradicional.....	62
Figura 20 – Diferentes formas urbanas: “pavilions”, “streets” e “courts”	63
Figura 21 – Relação entre IA e Gabarito para três diferentes tipologias de quadras	63
Figura 22 – <i>Unité d’Habitation</i> (a); Várzea do Carmo (b); Golden Lane (c).....	65
Figura 23 – Cidade Industrial de Garnier (a); Conjunto Mirante da Taquara (b)	66
Figura 24 – Conjunto Miguel Aleman; Barra da Tijuca-RJ	67
Figura 25 – Quadra fechada: Ville Contemporaine e Quadra de expansão para Barcelona	68
Figura 26 – Módulos de 4, 6 e 10 pavimentos da quadra de edifícios tipo ático	69
Figura 27 – Conjunto Residencial IAPI Lagoinha (BH).....	70
Figura 28 – Quadras híbridas – Conjunto habitacional Nonoalco-Tlatelolco.....	71
Figura 29 – Mapa Metodológico	73
Figura 30 – Demarcação da área do estudo – AMC 16.5.....	74
Figura 31 – Configuração da quadra	75
Figura 32 – Planta baixa dos cenários da tipologia de bloco isolado no lote	76
Figura 33 – Os ambientes de estudo	77
Figura 34 – Análise para definição do valor máximo do IA	79
Figura 35 – Análise preliminar para a definição do valor máximo do IA.....	80
Figura 36 – Planta baixa e vista do cenário de gabarito 3 – M1.....	81
Figura 37 – Planta baixa e vista do cenário de gabarito 12 – M2.....	82
Figura 38 – Afastamentos dos cenários e exemplos do M2 na cidade de Florianópolis	82
Figura 39 – Exemplos do M3, Planta baixa e vista de cenário de gabarito 3.....	83
Figura 40 – Planta Baixa e vista de cenário de gabarito 5 - M4.....	84
Figura 41 – Diferentes afastamentos laterais entre o M1 e o M4.....	84
Figura 42 – M1 e bloco isolado no lote (cinza escuro) e M4 (cinza claro).....	85

Figura 43 – (a) Relação IA e gabarito e (b) TO e gabarito, do bloco isolado no lote	86
Figura 44 – (c) Relação IA e gabarito e (d) TO e gabarito, do M1	87
Figura 45 – Planta Baixa do estudo do lote com entorno obstruído.....	90
Figura 46 – Cenários centralizados no lote, de acordo com a legislação	91
Figura 47 – Cenários de gabarito 13 a 16 da variação 2, excluídos do estudo.....	91
Figura 48 – Situações de implantação do estudo de acordo com a legislação	92
Figura 49 – Cenário da quadra aberta.....	93
Figura 50 – Dados de entrada no <i>CityZoom</i>	95
Figura 51 – Parâmetros urbanos e arquitetônicos parametrizados no Grasshopper	96
Figura 52 – Altura e afastamento para o cálculo do ângulo de obstrução do entorno...	98
Figura 53 – Esquema das análises do sDA: sDA_{edif} , sDA_{pavto} e sDA_{amb}	99
Figura 54 – Os pavimentos de análise de uma edificação de gabarito 22	101
Figura 55 – Comparação do 5º pavimento de análise e dos pavimentos 5.....	102
Figura 56 – Estudo 1A.....	103
Figura 57 – Estudo 1B	104
Figura 58 – Estudo 2A.....	104
Figura 59 – Estudo 2B	104
Figura 60 – Estudo 3.....	105
Figura 61 – Parte A (cenários) e parte B (gabarito) do Spacemate	106
Figura 62 - Parte D (sDA) do diagrama do Spacemate	106
Figura 63 – Representações dos resultados de sDA_{pavto} das tipologias de quadra	108
Figura 64 – Parte C (OSR) - pontos	110
Figura 65 – Parte C (OSR) - área	111
Figura 66 – Relação entre ângulo de obstrução entre edificações com diferentes gabaritos	112
Figura 67 – Representação do ângulo limite para $sDA=45\%$	113
Figura 68 – Análise do ângulo e céu visível entre cenários no 5º Pa	120
Figura 69 – Partes A e B (cenários e gabaritos) e Parte C (OSR) do bloco isolado no lote	121
Figura 70 – $sDA_{edif 1+2+3}$ e $sDA_{edif 2+3}$, da Parte A, B e D do Spacemate para M1	122
Figura 71 – Partes A e B do diagrama do M2 e do M3	123
Figura 72 – Partes A, B e D do diagrama do M4	124
Figura 73 – Partes A, B e D do diagrama do M4	125
Figura 74 – sDA_{pavto} da tipologia de bloco isolado no lote da $TO=30\%$	126
Figura 75 – Comparação de cenários de bloco isolado e diferente disposição de layout	127
Figura 76 – Estudo de tipologias iguais com mesmo sDA_{edif} e área construída	128
Figura 77 – Estudo de diferentes tipologias com mesmos valores de sDA_{edif} e IA.....	129
Figura 78 – Categorização do IA 5 das quadras e análise do gabarito 8.....	130
Figura 79 – sDA_{amb} da tipologia de bloco no lote das $TO=50\%$ e 60%	131
Figura 80 – Análise do $sDA_{amb 3}$ do cenário de gabarito 7 da $TO=50\%$	131
Figura 81 – sDA_{amb} dos cenários da tipologia de bloco no lote para as TO analisadas	132
Figura 82 – sDA_{amb} das tipologias de quadra	132
Figura 83 – $sDA_{amb 1}$ e $sDA_{amb 4}$ do M2.....	133
Figura 84 – $sDA_{amb 1}$ e $sDA_{amb 4}$ do M2.....	134
Figura 85 – Análise de $sDA_{amb 4}$ do M2	135
Figura 86 – Análise de sDA_{amb1} do M2.....	136

Figura 87 – sDA_{edif} (ambientes obstruídos) dos cenários comuns.....	137
Figura 88 – sDA_{edif} obstruído, sDA_{edif} não obstruído e sDA_{edif} todos	138
Figura 89 – Diagrama Spacemate Bloco isolado no lote – P1 e P2 e C.....	140
Figura 90 – Valores médios dos Casos A ao I do M3	141
Figura 91 – Casos A ao I do M3.....	142
Figura 92- Diagrama Spacemate – Casos A ao I, do M3	143
Figura 93 – sDA_{edif} dos casos P, G e A – Estudo 1A	144
Figura 94 – Estudo 1B.....	145
Figura 95 – Estudo 2B.....	146
Figura 96 – Estudo 3 do M3	147
Figura 97 – Diagrama Spacemate: bloco isolado no lote	149
Figura 98 – Comparação de cenários com mesmos OSR e parâmetros	149
Figura 99 – Comparação de cenários com mesmo OSR e diferentes parâmetros.....	150
Figura 100 – Comparação de cenários com diferentes OSR e mesmo IA	150
Figura 101 – Valores de OSR das tipologias das quadras.....	153
Figura 102 – Comparação de cenários de diferentes OSR no M1.....	153
Figura 103 – Cálculo do OSR para diferentes cenários do M1	154
Figura 104 – Cálculo de OSR para diferentes cenários do M2	155
Figura 105 – Cálculo de OSR para diferentes cenários do M3	155
Figura 106 – Afastamentos, larg. e prof. da edificação do bloco isolado no lote	156
Figura 107 – Afastamentos laterais das diferentes tipologias de quadra.....	157
Figura 108 – Comparação do 4º pavimento de análise e dos pavimentos 4.....	158
Figura 109 – Relação entre sDA do 4º Pa e dos pavimentos 4 do M3	158
Figura 110 – Ângulo de Obstrução da $TO=30\%$ da tipologia de bloco isolado no lote	160
Figura 111 – Cenário de menor valor na faixa de $sDA \geq 45$ e maior valor de $sDA < 45\%$	161
Figura 112 – Ângulo de Obstrução de todos os ambientes das tipologias M1, M3 e M4	162
Figura 113 – Ângulo de obstrução das tipologias de quadras	162
Figura 114 – Ângulos na faixa de $TO=50\%$ a 59% do M2 e $TO=60\%$	163
Figura 115 – Ângulos na faixa de $TO=50\%$ a 59% do M2 e $TO=60\%$	164
Figura 116 – Cenários M2 7.5 e EP ($TO=60\%$).....	165
Figura 117 – Cenários com mesma porcentagem de céu visível com $TO=40\%$ e 70%	166
Figura 118 – Ângulo de obstrução e céu visível de cenário de gabarito 22 – Blocos no lote	167
Figura 119 – Ângulo de obstrução e céu visível do gabarito 22 e $TO=50\%$	168
Figura 120 – Ângulo de obstrução e céu visível da $TO=30\%$ e $TO=80\%$ dos ambientes 2	169
Figura 121 – Porcentagem de céu visível do M2	169
Figura 122 – Análise de diferentes leiautes na tipologia de ocupação perimetral	170
Figura 123 – Análise 1 – Cenário 4.4.....	172
Figura 124 – Análise 2 – Cenário 7.4.....	173
Figura 125 – Relação entre IA e TO dos cenários considerando a legislação.....	175
Figura 126 – Diagrama Spacemate – Cenários da Situação – Variação 1 e 2.....	176
Figura 127 – sDA_{edif} , sDA_{pavto} e sDA_{amb} simulados para os cenários legislação	177
Figura 128 – Análise de diferentes implantações do lote no cenário de gabarito 5	178
Figura 129 – Relação dos afastamentos e gabaritos dos cenários da Variação 1	179

Figura 130 – Cenário do lote de entorno consolidado.....	180
Figura 131 – Análise dos cenários 10 a 13 considerando o bloco isolado no lote.....	181
Figura 132 – Análises do cenário de entorno consolidado – Opção 1	182
Figura 133 – Análises do cenário de entorno consolidado – Opção 2	183
Figura 134 – Análise dos cenários 5.4 das quadras e bloco isolado no lote.....	185
Figura 135 – Planta baixa da quadra aberta.....	186
Figura 136 – Planta baixa do cenário criado de quadra aberta.....	187
Figura 137 – Faixas de valores de sDA.....	189
Figura 138 – Relações identificadas entre sDA, OSR e os parâmetros urbanos.....	193
Figura 139 –Faixas de sDA do ângulo e céu visível no bloco de gabarito 22.....	195

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limite de Ocupação do plano diretor de Florianópolis para a AMC 16.5 ...	75
Tabela 2 – Características arquitetônicas dos novos casos simulados	78
Tabela 3 – Parâmetros Urbanos exigidos pela legislação de Florianópolis	89
Tabela 4 – Categorização dos resultados de sDA – faixas de valores.....	100
Tabela 5 – Representação dos resultados de sDA _{edif}	102
Tabela 6 – Representação dos valores de sDA _{amb}	109
Tabela 7 – Tabela de correlação	115
Tabela 8 – Tabela de Transição.....	115
Tabela 9 – Estudo 1A	144
Tabela 10 – Estudo 1B do M3	145
Tabela 11 – Estudo 2A do M3	146
Tabela 12 – Estudo 2B do M3	146
Tabela 13 – Estudo 3 do M3 – comparação entre casos.....	147
Tabela 14 – Valores de OSR da tipologia de bloco isolado no lote	148
Tabela 15 – OSR das tipologias de quadras	152
Tabela 16 - Resumo sDA _{edif} da tipologia de bloco isolado no lote	190
Tabela 17 - Resumo sDA _{edif} das tipologias das quadras	190
Tabela 18 - Resumo sDA _{pavto} do bloco isolado no lote	191
Tabela 19 - Resumo sDA _{pavto} das quadras.....	192
Tabela 20 – Resumo dos valores de OSR e sDA do bloco isolado no lote.....	194
Tabela 21 – Resumo dos valores de OSR e sDA das quadras.....	194
Tabela 22 – Resumo dos resultados dos cálculos do ângulo de obstrução vertical.....	196
Tabela 23 – Resumo dos resultados das simulações da porcentagem de céu visível...	196

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ASE** – Exposição Anual à luz solar (*Annual Sunlight Exposure*)
- CBDM** – *Climate-Based Daylighting Analysis*
- CIE** – *Commission Internationale de l’Eclairage*
- CTC** – Centro Tecnológico
- DA** – Autonomia da Luz Natural (*Daylight Autonomy*)
- EFA** – *Education Funding Agency*
- FLD** – Fator de Luz Diurna (*Daylight Factor – DF*)
- FLDV** – Fator de Luz Diurna Vertical (*Vertical Daylight Factor - VDF*)
- IA** – Índice de Aproveitamento
- IES** – *Illuminating Engineering Society*
- JCP** – Janela de Céu Preferível
- LabCon** – Laboratório de Conforto Ambiental da UFSC
- LEED** – *Leadership in Energy and Environmental Design*
- LM** – *Lighting Measurements*
- OSR** – Índice de Espaço Aberto (*Open Space Ratio*)
- PósArq** - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo
- sDA** – Autonomia Espacial da Luz Natural (*Spatial Daylight Autonomy*)
- SimLab** - Laboratório para Simulação e Modelagem em Arquitetura e Urbanismo
- TDC** - Transferência do Direito de Construir
- TO** – Taxa de Ocupação
- UDI** – Iluminâncias Úteis (*Useful Daylight Illuminances*)
- UFPB** – Universidade Federal da Paraíba
- UFRGS** – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- UFSC** – Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	APRESENTAÇÃO	19
1.2	OBJETIVOS	27
1.2.1	Objetivo geral	27
1.2.2	Objetivos específicos	27
1.3	QUADRO RESUMO DA PROPOSTA	28
1.4	ESTRUTURAÇÃO DA TESE	30
2	REFERENCIAL TÉORICO	31
2.1	ESPAÇO URBANO	31
2.1.1	Processo de urbanização	31
2.1.2	Estrutura do espaço urbano	33
2.1.3	Densidade Urbana	37
2.2	A LUZ NATURAL NO AMBIENTE CONSTRUÍDO	42
2.2.1	O espaço naturalmente iluminado	42
2.2.2	Medidas de desempenho da luz natural	43
2.2.3	Direito à luz natural: legislação arquitetônica e urbana	46
2.2.4	Fator de visão do céu e ângulo de obstrução vertical	48
2.2.5	Arquitetura e Automação	51
2.3	CARACTERÍSTICAS ARQUITETÔNICAS E DESEMPENHO DA LUZ NATURAL	53
2.3.1	A geometria das edificações	53
2.3.2	Dimensionamento das aberturas	57
2.3.3	Dimensionamento dos ambientes internos	59
2.4	FORMA URBANA E DESEMPENHO DA LUZ NATURAL	60
2.4.1	Estudo da forma urbana	60
2.4.1.1	<i>Espaços Abertos</i>	64
2.4.1.2	<i>Blocos isolados</i>	67
2.4.1.3	<i>Quadra de ocupação perimetral</i>	68
2.4.1.4	<i>Tipologia Híbrida</i>	71
3	MÉTODO	73
3.1	ETAPA 1 – DESEMPENHO DA LUZ NATURAL NO INTERIOR DO AMBIENTE CONSTRUÍDO	74

3.1.1	Definição do traçado da quadra	74
3.1.2	Definição das tipologias arquitetônicas	76
3.1.2.1	<i>Bloco isolado no lote</i>	76
3.1.2.1.1	Ambientes do estudo com características arquitetônicas padrão	76
3.1.2.1.2	Ambientes do estudo com diferentes características arquitetônicas	78
3.1.2.2	<i>Modelos de quadra</i>	78
3.1.2.2.1	<i>Modelo 1 – Blocos isolados na quadra</i>	81
3.1.2.2.2	<i>Modelo 2 – Ocupação perimetral</i>	81
3.1.2.2.1	<i>Modelo 3 – Edificações laminares paralelas</i>	83
3.1.2.2.2	<i>Modelo 4 – Blocos isolados com pavimentos diferenciados</i>	83
3.2	ETAPA 2 – ÍNDICE DE ESPAÇO ABERTO NO DESEMPENHO DA LUZ NATURAL	86
3.2.1	Correlação do OSR com os valores de desempenho	86
3.2.2	Determinação de um valor mínimo de OSR	87
3.3	ETAPA 3 – ÂNGULO DE OBSTRUÇÃO VERTICAL E PORCENTAGEM DE CÉU VISÍVEL	87
3.3.1	Correlação do ângulo de obstrução com os valores de desempenho .	87
3.3.2	Correlação da porcentagem de céu visível com os valores de desempenho	88
3.4	ETAPA 4 – COMBINAÇÃO DE ÍNDICES NORMATIVOS E INFORMATIVOS	88
3.4.1	Análise de desempenho com uso de índices normativos	89
3.4.2	Análise de desempenho com uso de índices informativos	92
3.5	FERRAMENTAS UTILIZADAS	94
3.5.1	Etapas 1 e 4 – Simulações paramétricas de diferentes formas urbanas	94
3.5.1.1	<i>Autonomia Espacial da Luz Natural – sDA</i>	94
3.5.1.2	<i>Criação dos cenários no programa computacional CityZoom</i>	94
3.5.1.3	<i>Modelagem dos cenários e definições dos critérios para as simulações</i>	96
3.5.2	Etapa 2 - Cálculos do Índice de Espaço Aberto – OSR	97
3.5.3	Etapa 3 – Correlação do ângulo de obstrução vertical e a porcentagem de céu visível	97
3.5.3.1.1	Cálculo trigonométrico do ângulo de obstrução.....	97
3.5.3.1.2	Porcentagem de céu visível no programa computacional Apolux ...	98
3.6	TRATAMENTO DOS DADOS	99

3.6.1	Etapa 1 – Desempenho da luz natural no interior do ambiente construído.....	99
3.6.1.1	<i>Autonomia Espacial da Luz Natural – sDA_{edif}.....</i>	<i>100</i>
3.6.1.1.1	Análises dos cenários considerando as características arquitetônicas padrão	100
3.6.1.1.2	Análises dos cenários considerando as diferentes características arquitetônicas	103
3.6.1.2	<i>Apresentação dos resultados de desempenho no diagrama Spacemate</i>	<i>105</i>
3.6.1.3	<i>Autonomia Espacial da Luz Natural – sDA_{pavto}.....</i>	<i>107</i>
3.6.1.4	<i>Autonomia Espacial da Luz Natural – sDA_{amb}.....</i>	<i>108</i>
3.6.2	Etapa 2 – O Índice de Espaço Aberto – OSR.....	109
3.6.3	Etapa 3 – Ângulo de obstrução vertical e a porcentagem de céu visível	112
3.6.3.1.1	Ângulo de obstrução vertical.....	112
3.6.3.1.2	Porcentagem de céu visível	114
3.6.4	Etapa 4 – Combinação de índices normativos e informativos.....	114
3.6.5	Apresentação dos resultados nas tabelas de correlação e transição	115
3.6.6	Utilização dos resultados da pesquisa.....	116
3.6.6.1	<i>Passo 1: Identificar o resultado de desempenho de uma determinada forma urbana no diagrama Spacemate</i>	<i>116</i>
3.6.6.2	<i>Passo 2: Calcular o ângulo de obstrução vertical dos pavimentos da edificação a ser implantada</i>	<i>117</i>
3.6.6.3	<i>Passo 3: Consultar as tabelas de correlação e de transição</i>	<i>117</i>
3.6.7	Testes do desempenho através da combinação de índices normativos e informativos	117
4	RESULTADOS.....	119
4.1	ETAPA 1 – DESEMPENHO DA LUZ NATURAL NO INTERIOR DO AMBIENTE CONSTRUÍDO	119
4.1.1	Autonomia Espacial da Luz Natural – sDA	119
4.1.1.1	<i>Autonomia Espacial da Luz Natural da edificação – sDA_{edif}.....</i>	<i>119</i>
4.1.1.2	<i>Autonomia Espacial da Luz Natural dos pavimentos – sDA_{pavto}.....</i>	<i>124</i>
4.1.1.3	<i>Autonomia Espacial da Luz Natural dos ambientes – sDA_{amb}</i>	<i>130</i>
4.1.2	Desempenho da luz natural nos cenários comuns das tipologias de quadras	136
4.1.3	Desempenho da luz natural variando os parâmetros arquitetônicos	139

4.2	ETAPA 2 – INFLUÊNCIA DO ÍNDICE DE ESPAÇO ABERTO NO DESEMPENHO DA LUZ NATURAL	148
4.2.1	Correlação entre parâmetros urbanos e OSR na tipologia de bloco isolado no lote	148
4.2.2	Correlação entre parâmetros urbanos e OSR nas tipologias de quadra 151	
4.3	ETAPA 3 – ÂNGULO DE OBSTRUÇÃO VERTICAL E A PORCENTAGEM DE CÉU VISÍVEL.....	156
4.3.1	Ângulo de Obstrução.....	156
4.3.2	Porcentagem de Céu Visível	165
4.4	ETAPA 4 – COMBINAÇÃO DE ÍNDICES NORMATIVOS E INFORMATIVOS	174
4.4.1	Análise de desempenho com a utilização de índices normativos.....	174
4.4.1.1	<i>Situação 1 – Cenários criados de acordo com a legislação de Florianópolis</i>	<i>174</i>
4.4.1.2	<i>Situação 2 – Lote com entorno obstruído</i>	<i>180</i>
4.4.2	Análise de desempenho com a utilização de índices informativos: a quadra aberta	184
4.4.3	Apresentação esquemática dos principais resultados	188
4.4.3.1	<i>Desempenho da luz natural no interior do ambiente construído</i>	<i>189</i>
4.4.3.2	<i>Influência do índice de espaço aberto - OSR</i>	<i>194</i>
4.4.3.3	<i>Correlação do ângulo de obstrução vertical e porcentagem de céu visível 195</i>	
5	CONCLUSÕES	198
5.1	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	198
5.1.1	ETAPA 1.....	199
5.1.2	ETAPA 2.....	205
5.1.3	ETAPA 3.....	207
5.1.4	ETAPA 4.....	208
5.2	RESULTADO FINAL	210
5.3	LIMITAÇÃO DA PESQUISA	214
5.4	RECOMENDAÇÃO DE FUTUROS TRABALHOS	214
	REFERÊNCIAS	216
	APÊNDICE A – Dados dos cenários – Bloco isolado no lote.....	224
	APÊNDICE B - Dados dos cenários – Tipologias de quadra	225
	APÊNDICE C - sDA_{edif} –Bloco isolado no lote	226

APÊNDICE D - sDA_{edif} – Tipologia de quadra.....	227
APÊNDICE E - Diagrama Spacemate – Bloco isolado no lote.....	229
APÊNDICE F - Diagrama <i>Spacemate</i> - M1 e M2.....	230
APÊNDICE G - Diagrama <i>Spacemate</i> – M3 e M4.....	231
APÊNDICE H – sDA_{pavto} e categorização das faixas de sDA – Bloco no lote	232
APÊNDICE I – sDA_{pavto} e categorização das faixas de sDA – M1	234
APÊNDICE J – sDA_{pavto} e categorização das faixas de sDA – M2.....	235
APÊNDICE K – sDA_{pavto} e categorização das faixas de sDA – M3	236
APÊNDICE L – sDA_{pavto} e categorização das faixas de sDA – M4.....	237
APÊNDICE M – sDA_{amb} – Bloco isolado no lote	238
APÊNDICE N – sDA_{amb} – Tipologias de quadra.....	239
APÊNDICE O – Ângulo e % Céu Visível – Lote.....	240
APÊNDICE P – Ângulo e % Céu Visível das quadras: 30% a 39%	241
APÊNDICE Q – Ângulo e % Céu Visível das quadras: 40% a 49%	242
APÊNDICE R – Ângulo e % Céu Visível das quadras: 50% a 59%.....	243
APÊNDICE S – Ângulo e % de Céu Visível das quadras: 60% a 69%	244
APÊNDICE T – Ângulo e % de Céu Visível das quadras: 70% a 80%.....	245
APÊNDICE U – Tabela de Correlação – Bloco isolado no lote.....	246
APÊNDICE V – Tabela de Transição – Bloco isolado no lote	247
APÊNDICE W – Tabela de Correlação – M1.....	248
APÊNDICE X – Tabela de Correlação – M3.....	249
APÊNDICE Y – Tabela de Transição – M1 e M3	250
APÊNDICE Z – Tabela de Correlação - M2.....	251
APÊNDICE AA – Tabela de Transição – M2.....	252
APÊNDICE BB – Tabela de Correlação- M4.....	253
APÊNDICE CC - Tabela de Transição- M4	254

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

A imensa e rápida urbanização pela qual passou a sociedade brasileira foi certamente uma das principais questões sociais do País no século XX (ROLNIK, 2000), causada, especialmente, pelo processo de verticalização, que alterou a estrutura interna das cidades, provocando mudanças no uso do solo urbano. Esse crescimento ocorreu de forma fragmentada e desestruturada, o que gerou condições para se viver nesses espaços de grandes vulnerabilidades urbano-ambientais (MARICATO, 2000).

A produção e a expansão das cidades são reguladas pelo Estado, o qual apresenta limitada capacidade de investimento em urbanização, que não acompanha o crescimento econômico, resultando em cidades sem urbanidade. Por meio de leis de parcelamento, zoneamentos e planos urbanísticos, delega-se ao loteador privado a missão de produzir terra urbanizada, com infraestrutura e espaços públicos (áreas verdes, equipamentos públicos), sob a forma de percentuais da área total da gleba, de acordo com as regras instituídas em 1979, pela Lei 6.766 (BRASIL, 1979). De acordo com esse modelo, o mercado formal de urbanização produz “cidades” privadamente (ROLNIK; KLINK, 2011).

Reformas no ordenamento legal do País, tais como o Estatuto da Cidade, com processos de constituição de espaços de participação popular que, em tese, dotariam os municípios de maior poder sobre o processo de urbanização, pouco modificaram o parcelamento do solo e o zoneamento, impedindo o pacto político territorial, que permitiria a implementação da função social da propriedade (ROLNIK; KLINK, 2011).

Na medida em que as necessidades da sociedade mudam no decorrer do tempo, torna-se necessário revisar regularmente as regras em vigor, para garantir a manutenção da eficiência (LEHNERER, 2009). Uma variedade na disposição e na geometria das edificações, considerando diferentes maneiras de parcelamento das cidades, impacta na criação de formas urbanas e arquitetônicas.

A configuração espacial vai além do previsto nos tradicionais zoneamentos que, além do uso das edificações, consideram gabaritos, afastamentos e áreas máximas de construção. A configuração espacial compreende também cones de visibilidade, relacionamentos entre volumes edificados e topografia, relacionamentos entre o novo e o conjunto edificado existente, compatibilidades tipológicas, continuidade e inserção na morfologia, etc. (DEL RIO, 1990).

Na maioria das cidades brasileiras, a cidade se faz a partir do acoplamento das peças individuais (edifícios), implantadas de modo aleatório na escala do lote (NOTO, 2015).

Embora cada objeto arquitetônico possua características próprias em função do seu uso, linguagem arquitetônica, decisões projetuais e padrão construtivo, a implantação do lote na quadra é sempre norteadas por variáveis expressas na legislação urbanística focando, predominantemente, no lote isolado: recuos e índices urbanísticos. Muitas vezes, deixa-se de investigar possibilidades espaciais, a partir do conceito de bairro-cidade ou quadra-cidade.

Cada ambiente construído inclui algum projeto deliberado, especialmente no domínio público. As fachadas dos edifícios, sistemas viários são projetados, as larguras dos passeios são definidas e os parques são dispostos. Desenho urbano e planejamento podem incentivar a diversidade, adaptabilidade, conectividade, resiliência e robustez, elementos de sistemas complexos saudáveis (BOEING, 2018).

Diante disso, os regulamentos urbanos não podem ser usados, por si sós, para descrever adequadamente propriedades espaciais de tipos urbanos (BERGHAUSER PONT; HAUPT, 2009). Como em um jogo de xadrez, utilizando o conjunto de regras que governam a liberdade de movimentos de cada peça é possível criar uma série infinita de possibilidades, gerando outras sub-regras, não oficiais, baseadas na experiência, que se desenvolvem até se tornarem regras oficiais nas mãos de jogadores experientes, cuja experiência influencia por sua vez o original dado e, por extensão, contribui para regulamentá-lo (HERTZBERGER, 1999).

Os regulamentos tradicionais, em certa medida normativos, muitas vezes não são suficientes para garantir a luz natural no interior dos ambientes, que pode ser modificada de acordo com a configuração do espaço urbano, considerando-se o entorno edificado, as

dimensões e as formas dos edifícios, assim como a geometria dos espaços abertos (LITTLEFAIR, 2002).

A disponibilidade de luz natural é considerada altamente desejável nos projetos urbanos e arquitetônicos. A luz natural pode ser proveniente de fontes diretas (o Sol e o céu – abóbada celeste) e indiretas (luz oriunda de superfícies reflexivas e translúcidas) (MOORE, 1991).

Nos últimos anos, muitos trabalhos abordam os impactos não visuais da exposição humana à luz, relacionados à saúde (ANDERSEN, 2015) e bem-estar, considerando a regulação dos ritmos circadianos (ciclo claro/escuro) (VAN BOMMEL, 2016), que têm papel na manutenção dos processos bioquímicos, fisiológicos (MARTAU, 2015), comportamentais (BOYCE, 1996) e na produtividade (VAN DEN WYMELENBERG, 2014). A preocupação com a eficiência energética (DOGAN; REINHART, 2017) é crescente, utilizando a luz natural e o controle solar como estratégias para a economia de energia.

Tregenza e Mardaljevic (2018) questionam quais seriam os critérios utilizados para uma boa luz natural. A luz natural aceita pelo usuário não deve limitar o seu desempenho visual, não pode causar desconforto visual e, ao mesmo tempo, deve atender às suas expectativas (BOYCE, 1996). Hopkinson et al. (1975) ressaltam que “a essência de um bom projeto de luz natural consiste na colocação de aberturas de tal modo que a luz penetre sobre o plano de trabalho, de maneira que proporcione uma boa distribuição de iluminância em todos os planos do interior”.

Entretanto, o desafio para analisar a luz natural é a sua própria natureza dinâmica, um fator de difícil controle e previsão. Cada vez mais, medidas de avaliação têm sido propostas para avaliar as condições dinâmicas, conhecidas como modelagem baseada no clima (*Climate-based Daylight modelling – CBDM*), que se dá através de uma base anual de dados climáticos, promovendo uma maior aproximação do projeto à sua realidade (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006).

Em adição, a complexidade está nas experiências subjetivas do espaço. A percepção da luz é determinante no comportamento do indivíduo e nas suas relações com o espaço e vice-versa (MERLEAU-PONTY, 2004). Os efeitos visuais da luz natural são

percebidos e avaliados, e sua necessidade é variável, em razão de preferências individuais e fatores como cultura, saúde e idade (BOYCE, 1996).

A presença das obstruções no entorno reduz a incidência de luz natural, interferindo na qualidade e produtividade das atividades realizadas nos ambientes internos, especialmente nos pavimentos inferiores de áreas densas. Em situações em que a visão da abóbada celeste é muito reduzida ou inexistente, a luz natural é garantida por meio das componentes refletidas externas (CRE) e internas (CRI). O somatório das CRE, CRI e CC (componente celeste) resulta no total da iluminação que atinge determinado ponto (HOPKINSON *et al.*, 1966).

Shayesteh e Steadman (2015) observaram que as transformações, tanto na escala da edificação, como na escala urbana, causadas pelas mudanças dos regulamentos no decorrer dos anos, alcançaram densidades mais altas, diminuindo significativamente o desempenho da luz natural, com a presença de edifícios com ambientes mais profundos, ofuscando o entorno.

A densidade urbana contém informações sobre propriedades espaciais, com potencial de articular aspectos quantitativos e qualitativos da forma urbana (BEIRÃO, 2012). O que deve limitar os parâmetros da densidade? As respostas a essa pergunta frequente estão longe de indicar uma justificativa segura (SARATSI; DOGAN; REINHART, 2017).

A densidade surge como instrumento para condicionar a performance que define a forma da cidade e a qualidade dos espaços públicos e áreas construídas. Não prescreve soluções ou formas edificadas específicas, mas define critérios para a forma, como processo de planejamento (LIMA; FREITAS, 2016).

O trabalho de Zandavali e Turkienicz (2018) propõe um modelo generativo que une estratégias para possibilitar a flexibilização arquitetônica e o controle da forma do espaço urbano, simultaneamente, gerando geometrias variadas por meio da associação de tipologias morfológicas de quadra. A flexibilidade da forma das edificações permitiu a criação de diferentes volumes, que resultaram na melhoria de desempenho, sugerindo que outros índices podem ser mais eficientes que as regras urbanas correntes, tais como os afastamentos, estratégias que resultam em prismas compactos.

Com os parâmetros urbanos normativos atuais, a taxa de ocupação controla a projeção da área permitida a ser construída, reservando uma porcentagem mínima exigida de área livre. Não muito conhecido no contexto brasileiro, o índice de espaço aberto (*Open Space Ratio – OSR*), também chamado de indicador da amplitude (*spaciousness*). O OSR relaciona a área construída total à área de lote mantida desocupada. Esse indicador pode ser visto como uma expressão das compensações entre maximizar o IA e a demanda pública e privada por espaço aberto adequado (BERGHAUSER PONT, HAUPT, 2009).

Dekay (2010) questiona como seria a forma da cidade se fosse observada seriamente a provisão de luz natural em todas as edificações. O espaço urbano é criado de diversas maneiras, constituído de diferentes tipologias arquitetônicas, como são as estudadas por Martin e March (STEADMAN, 2014), ocupação perimetral (*court*), torres isoladas (*streets*) e edificações em fita (*pavilions*), que podem ser articuladas entre espaços cheios (áreas edificadas) ou vazios (espaços abertos) e públicos ou privados.

Ratti, Raydan e Steemers (2003) analisam as formas das edificações em áreas quentes e áridas e indicam que algumas apresentam melhor desempenho que outras, como é o caso da tipologia de ocupação perimetral, comparada com a tipologia de edificação em fita.

Como a forma e a densidade urbana, expressas em diferentes tipologias de edifícios, afetam a luz natural? (SATTRUP; STRØMANN-ANDERSEN, 2013). Sattrup e Strømman-Andersen (2013) avaliam que o impacto de escolher uma determinada tipologia pode afetar em até 48% a luz natural em edificações com densidades urbanas semelhantes.

Há necessidade de uma investigação mais detalhada do efeito da forma urbana no desempenho da luz natural, com regras básicas para controle do volume (massa) e para garantir que as decisões pretendidas para gerar luz natural realmente sejam dimensionadas de acordo com os parâmetros de níveis suficientes de luz natural (DEKAY, 2010).

De Luca e Dogan (2019) estudam um método de desempenho, considerando o envelope solar de Knowles (2003), para garantir o maior volume que uma edificação pode ocupar no terreno, de forma a permitir o acesso ao sol e à luz natural da vizinhança

imediate. Inclui nos cálculos o contexto urbano e a possibilidade de selecionar a quantidade e a qualidade das horas de luz solar, otimizando-os para diferentes objetivos.

As geometrias das edificações deveriam ser limitadas pela exigência de luz e ventilação natural, mas, com o avanço da tecnologia, essas restrições são quebradas com o uso de luz artificial e ar condicionado. Por meio da análise da geometria, porcentagem, posição e distribuição das aberturas e refletividade das superfícies, estudo de Fonseca, Pereira e Claro (2010) procurou evidenciar as relações da luz refletida em quatro condições possíveis de ambiente (intermediários, profundos, largos e altos). Como resultados, a área das superfícies refletoras mostrou-se mais representativa que a porcentagem de aberturas. Em relação à geometria, pode-se inferir que a planta é fator determinante do direcionamento da luz, pois modificações no comprimento e na largura podem influenciar na configuração do ambiente luminoso, enquanto variações de altura alteram apenas a intensidade da luz refletida. Os ambientes classificados como intermediários e os de pé-direito alto, com abertura centralizada, refletem a luz a partir das arestas da envolvente e da superfície oposta à janela. Enquanto isso, nos ambientes profundos, a luz é refletida com mais frequência a partir das arestas e nos ambientes largos na superfície oposta.

A redução simultânea das refletâncias de parede e teto ocasiona maior impacto na contribuição da luz refletida para homogeneizar o ambiente luminoso em ambientes de geometria intermediária e larga, seguidos da geometria profunda e com menos intensidade em ambientes altos, verificando que a refletância é o parâmetro mais significativo na manipulação da luz refletida. Visando maior contribuição da CRI, o posicionamento das aberturas deve ser projetado em função da área de céu visível, considerando a geometria do ambiente como o meio que definirá a trajetória de distribuição da luz na direção escolhida. As superfícies internas mais favoráveis pelo ângulo de visão de céu serão as mais expressivas no direcionamento da luz refletida, seguidas das superfícies que recebem luz daquelas primeiras, diretamente. O aproveitamento adequado dessas superfícies, como o aumento de suas refletâncias, por exemplo, pode elevar o desempenho do ambiente luminoso (FONSECA; PEREIRA; CLARO, 2010).

Dekay (2010) estuda a tipologia de ocupação perimetral (*court*), definindo dimensões máximas para a altura, o comprimento, a largura e a espessura da edificação

(entre pátio interno e fachadas externas) para se obter adequada luz natural no interior dos ambientes.

Além da forma urbana e da densidade, formas arquitetônicas diferentes, alcançando densidades similares, podem ser criadas para favorecer a incidência de luz natural e, dessa maneira, podem ser flexibilizadas a fim de melhorar o desempenho nos ambientes internos.

Entretanto, as leis correntes tendem, cada vez mais, a aprofundar o corte e a limitar os projetos de uso do solo urbano a dois padrões: os blocos e as torres, soltos sobre um suporte visto como contínuo, e a edificação ou as edificações isoladas em um grande lote fechado (SANTOS, 1988). As restrições geométricas relacionadas com as dimensões individuais dos lotes e a utilização de índices urbanísticos indicativos, exigindo valores máximos de TO e gabarito, muitas vezes limitam a criação arquitetônica, ao mesmo tempo que podem não ser suficientes para garantir a boa luz natural no interior dos ambientes.

Além da geometria em “O” (ocupação perimetral), outras edificações em formato de H, I, F, L, C, E, Y, etc., também causam obstrução para a própria edificação, especialmente nos encontros das fachadas. Devido aos regulamentos urbanos tradicionais, que estabelecem valores máximos permitidos dos parâmetros urbanos, muitas vezes não é possível alcançar, com essas geometrias, a projeção máxima de ocupação, com o maior potencial construtivo de uma determinada área, como acontece com os formatos retangulares.

Diante desse contexto, esta pesquisa testa se a combinação dos índices normativos tradicionais (valores máximos dos parâmetros urbanos – IA, TO, gabaritos e afastamentos mínimos) com os índices informativos (desempenho de performance) é suficiente para garantir desempenho da luz natural no interior dos ambientes, sem causar obstruções para o entorno imediato. Assim, cenários são criados para analisar o desempenho da luz natural no interior dos ambientes, de diferentes configurações urbanas e disposição das edificações na quadra, através das simulações paramétricas, considerando, como valor satisfatório, $sDA \geq 45\%$.

Desse modo, esta pesquisa investiga a influência da forma urbana na disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes, compreendendo, primeiramente,

faixa de taxa de ocupação entre 30% e 80%, índice de aproveitamento de 1 a 7 e gabaritos de 2 a 22, considerando ambientes com profundidade e área de abertura diferentes, em tipologias de bloco isolado no lote e em quatro diferentes quadras urbanas: (1) blocos isolados; (2) ocupação perimetral; (3) edificações paralelas laminares, e (4) tipologia híbrida com 1º e 2º pavimentos diferenciados.

Para cada tipologia arquitetônica foi criado um gráfico bidimensional, com a ferramenta *Spacemate*, para analisar as diversas combinações de TO (no eixo x), IA (no eixo y), gabarito e índice de espaço aberto – OSR (nos eixos oblíquos), permitindo verificar, conjuntamente, as características dos tipos edifícios e urbanos, de uma forma que os parâmetros não conseguem fazer isoladamente. Esse método também é usado para explorar opções espaciais e otimizar a relação entre densidade, forma e desempenho urbano (BERGHAUSER PONT, HAUPT, 2009). Com os diagramas adaptados para apresentar os valores de sDA, foi possível visualizar simultaneamente os resultados de desempenho da luz natural das edificações de todos os cenários criados.

Em relação ao OSR, que associa o índice de aproveitamento – IA e a taxa de ocupação – TO, relacionando a área construída total com a área aberta (área da quadra diminuída da área de projeção), tem-se o intuito de identificar um valor mínimo, que resulte em configurações urbanas favoráveis à disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes.

Como o impacto do entorno imediato restringe as condições de visibilidade das fontes luminosas diretas (Sol e céu) e indiretas (reflexão em superfícies externas e internas), que são fortemente influenciadas pela geometria das edificações e pela forma urbana, esta pesquisa visa identificar o maior ângulo de obstrução e a menor porcentagem de céu visível correspondente ao mínimo valor considerado satisfatório de desempenho dos ambientes de cada pavimento da edificação dos cenários analisados.

A pesquisa também tem como propósito verificar se a combinação dos parâmetros urbanos permitidos nas regras urbanas da cidade de Florianópolis teve os resultados de desempenho assegurados em todos os pavimentos de análise. A concepção de uma quadra aberta, aleatoriamente projetada, visa aplicar os resultados finais da pesquisa, correlacionando os valores de desempenho com os ângulos de obstrução, porcentagem de céu visível e OSR. O intuito é o de melhorar a qualidade do espaço urbano, de maneira a não ser necessário estipular valores máximos de alguns índices urbanísticos, como a taxa

de ocupação e o gabarito. O controle do uso do solo pode ser assegurado pelo valor máximo do índice de aproveitamento e um valor mínimo de OSR, considerando os afastamentos mínimos entre as edificações. Uma maior variedade entre a disposição na implantação das edificações e maior autonomia das geometrias pode favorecer a disponibilidade de luz natural no interior do ambiente construído, sem causar obstruções para o entorno imediato.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é propor critérios de controle da disponibilidade de luz natural a serem utilizados, combinados com índices urbanos, para garantir e avaliar o desempenho da luz natural no interior dos ambientes.

1.2.2 Objetivos específicos

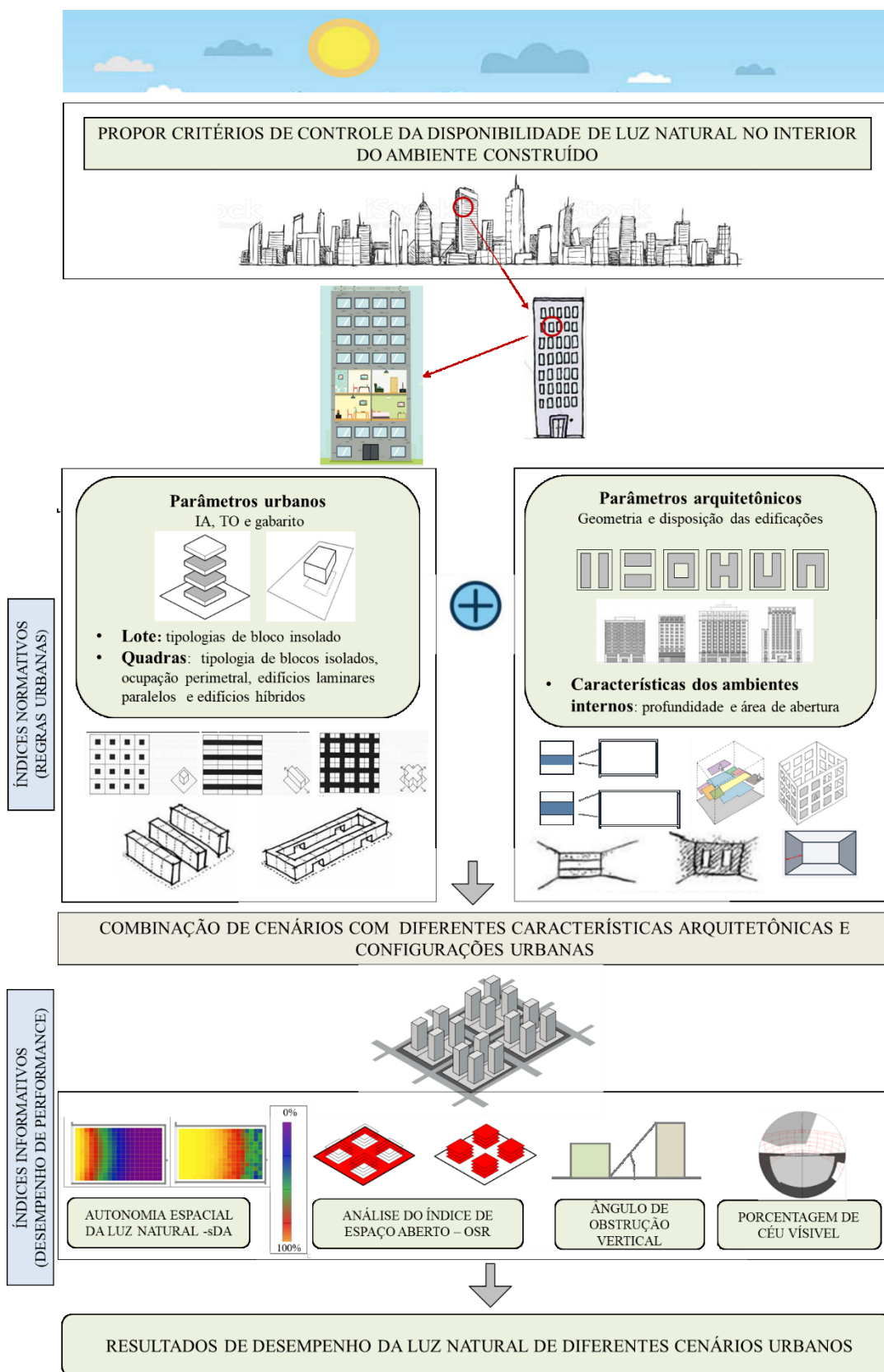
- Identificar as combinações dos parâmetros urbanos (índice de aproveitamento – IA, taxa de ocupação – TO e gabarito) que garantam desempenho satisfatório da luz natural no interior dos ambientes, considerando as simulações paramétricas de diferentes tipologias arquitetônicas (na escala do ambiente, pavimento e edificação).
- Definir um valor de índice de espaço aberto – OSR, a ser utilizado, como referência, na concepção de projetos, que resulte em configurações urbanas favoráveis à disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes
- Determinar o ângulo máximo de obstrução vertical e a porcentagem mínima de céu visível, correspondente ao menor valor estipulado de desempenho, considerando diferentes tipologias arquitetônicas.

- Testar o uso da combinação dos índices normativos tradicionais com os índices informativos (desempenho de performance), em diferentes cenários urbanos.

1.3 QUADRO RESUMO DA PROPOSTA

A Figura 1, a seguir, ilustra o resumo da proposta da tese. O desempenho da luz natural no interior do ambiente construído é analisado através de simulações paramétricas, considerando diferentes formas urbanas e arquitetônicas. Como decorrência são apresentadas diversas combinações dos cenários do estudo que derivaram em resultados de desempenho satisfatório.

Figura 1 – Quadro resumo da proposta



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

1.4 ESTRUTURAÇÃO DA TESE

Esta tese está dividida em cinco capítulos. O primeiro capítulo corresponde à introdução, com apresentação do tema da tese, justificativa e importância, seguidos do objetivo geral e dos específicos.

No segundo capítulo, o referencial teórico traz conceitos relevantes para o desenvolvimento da tese e contribui para um melhor entendimento sobre o assunto abordado, analisando a influência da forma urbana na disponibilidade de luz natural.

O capítulo 3 trata o método da pesquisa, dividido em quatro etapas. A etapa 1 teve como objetivo a realização de simulações paramétricas dos cenários de diferentes tipologias arquitetônicas, identificando as combinações dos parâmetros urbanos que garantiriam a luz natural no interior dos ambientes.

A etapa 2 analisou a influência do índice de espaço aberto – OSR no desempenho da luz natural no interior dos ambientes.

A etapa 3 teve como intuito determinar o ângulo máximo de obstrução vertical e a porcentagem mínima de céu visível, correspondente ao menor valor estipulado de desempenho que propiciasse luz natural no interior dos ambientes, considerando as diferentes tipologias arquitetônicas.

A etapa 4 consistiu na criação de novos cenários, de diferentes configurações urbanas e disposições das edificações na quadra, para testar o desempenho da luz natural no interior dos ambientes, considerando os índices normativos tradicionais e os índices informativos (desempenho de performance).

O capítulo 4 apresenta os resultados finais da pesquisa, nas tabelas de correlação e de transição, para cada tipologia analisada.

Por fim, apresenta-se a conclusão do estudo, seguida das referências e dos apêndices da pesquisa, com tabelas das correlações dos resultados de todo o trabalho, para consulta durante o desenvolvimento de projetos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

No referencial teórico foi abordada a evolução do espaço urbano, através do processo de urbanização das cidades, e como as regras urbanas passaram a controlar o uso e a ocupação do solo. Foi retratada a importância da luz natural, considerando os efeitos visuais e não visuais, e analisados estudos sobre as formas de ocupação e o uso de diferentes geometrias das edificações para a disponibilidade de luz natural no interior do ambiente construído.

2.1 ESPAÇO URBANO

A organização espacial das cidades mostra o surgimento de novas áreas e as áreas em transformação, nas quais ocorre a redefinição da forma espacial e da dinâmica da sociedade contemporânea, resultando na reestruturação do espaço urbano.

2.1.1 Processo de urbanização

O espaço geográfico – e mais especificamente o espaço urbano – é produto, condição e meio para todas as atividades humanas, sendo produzido e reproduzido pela organização e reorganização espacial provocada pela sociedade (LOPES; DOS SANTOS, 2010).

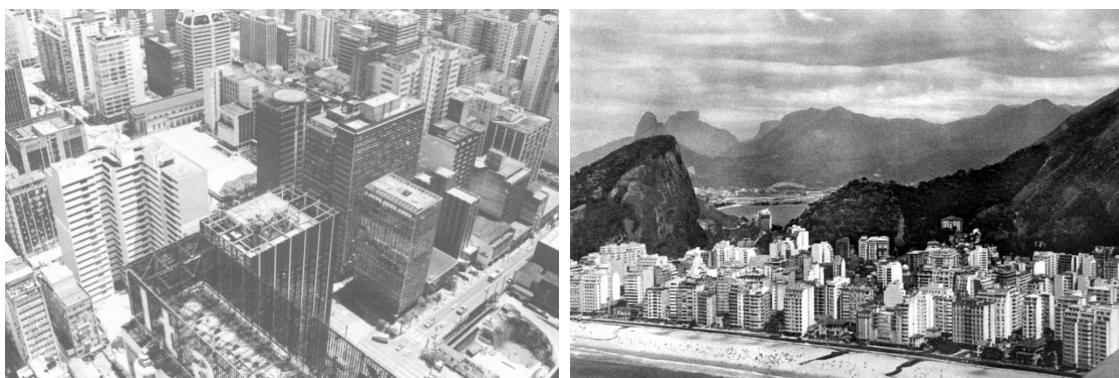
Essas alterações no espaço urbano ocorreram de acordo com os períodos históricos de desenvolvimento da sociedade (DOGAN; SARATSI; REINHART, 2015a), com influência direta do Estado e das classes dominantes, que torna visível o reflexo das diferenças de classe, caracterizada pela segregação social.

Surgem novas características no espaço, uma vez que passa a existir também uma nova ordenação social (GOTTDIENER, 1993). Corrêa (1995) evidencia partes ou setores da cidade, ligados ou articulados, na maioria das vezes, pelo centro, os quais, ao revelar novas centralidades através da desconcentração das atividades, refletem também a descentralização de sua forma espacial.

As técnicas da atividade construtiva, o arranjo dos espaços, as descobertas de novos materiais, as formas de produção, comercialização e consumo, teriam de se pautar pelos novos parâmetros. Não se poderia ampliar as construções para o alto, como antes se enfileiravam casinhas lado a lado (VAZ, 1994).

Assim, no espaço urbano, o cenário onde poderiam irromper novos modelos, surgem os arranha-céus. O processo de verticalização foi viabilizado nas cidades modernas graças à introdução do elevador (RAMIRES, 1998). No Brasil, o surgimento dos edifícios altos ocorreu no fim do século XIX, nas cidades do Rio de Janeiro e São Paulo (FICHER, 1994) (Figura 2).

Figura 2 – Edifícios altos – São Paulo (a) e Rio de Janeiro (b)



Fonte: Vaz (1994).

Uma das perguntas importantes para a arquitetura de edifícios altos passou a ser: Quão alto pode ser um edifício e se manter economicamente lucrativo, sem sacrificar a qualidade da vida na cidade? Ou: Para que precisamos de edifícios cada vez mais altos? Os limites para a verticalização passaram a ser menos ditados pelas questões de tecnologia estrutural, para serem determinados por questões de consumo energético, custos de manutenção, efeitos psicológicos de alturas excessivas e impacto ambiental (GONÇALVES, 2000).

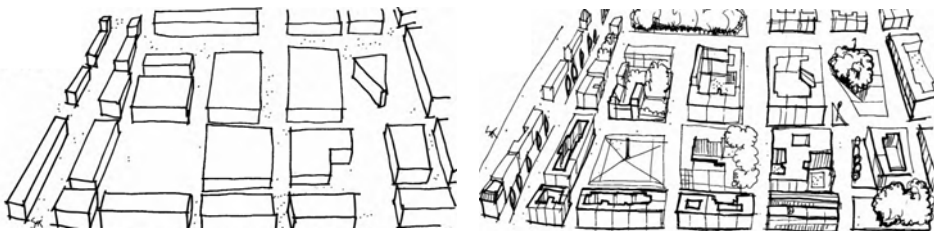
Nesse contexto, no crescimento das cidades, ocorre a evolução e a transformação da arquitetura urbana em grande escala. Desse modo, surge uma nova responsabilidade para o Poder Público, no sentido de disciplinar o seu processo, através de zoneamentos, definindo índices urbanísticos para a estruturação do espaço urbano.

2.1.2 Estrutura do espaço urbano

A morfologia urbana estuda os aspectos exteriores do meio urbano e as suas relações recíprocas, definindo e explicando a paisagem urbana e a sua estrutura (LAMAS, 1999).

A paisagem é determinada pela associação de espaços construídos e espaços livres, que constituem as ruas, praças, largos, pátios, quintais, parques, jardins, terrenos baldios, corredores externos, vilas, vielas e outros mais por onde as pessoas fluem no seu dia a dia em direção ao trabalho, ao lazer ou à moradia ou ainda exercem atividades específicas (trabalho, lazer) (MACEDO, 1995) (Figura 3).

Figura 3 – Volumes construídos e espaços livres dos volumes edificados



Fonte: Macedo (1995).

À medida que aumentavam os índices de urbanização, o tamanho das cidades, a escala e a complexidade das redes metropolitanas, foi ocorrendo uma crescente disparidade entre os processos que realmente incidiam sobre as cidades e os instrumentos e métodos de intervenção pública sobre esses processos. Com as intervenções higienizadoras e embelezadoras do final do século XIX e início do XX, inicia-se o debate em torno dos padrões e parâmetros técnicos desejáveis para a produção do espaço urbano (ROLNIK, 2000).

O instrumento que hegemoniza a prática do planejamento nesse período é o zoneamento, que significa a divisão do conjunto do território urbanizado (ou a ser urbanizado) em zonas diferenciadas, para as quais são aplicados parâmetros de uso e ocupação específicos. Esta estratégia baseia-se na ideia da definição de um modelo de cidade ideal, traduzido em índices como taxas de ocupação, coeficientes de aproveitamento, tamanhos mínimos de lotes, etc. (ROLNIK, 2000).

No final da década de 1980 introduziram-se os planos diretores, para evitar a dissipação de forças em intervenções fragmentadas, em prol do foco nos pontos vistos como fundamentais para a cidade. A regulação urbanística passa a ser tratada como um processo, com etapas sucessivas: a formulação de instrumentos urbanísticos, sua aprovação, sua aplicação, sua fiscalização e revisão periódica (ROLNIK, 2000).

A expansão urbana se dá pelo parcelamento do solo. Os espaços construídos são parcelados, na forma de loteamentos e desmembramentos, disciplinados pela Lei Federal nº 6.766, de 1979, com suas alterações posteriores, referindo-se apenas a loteamentos individuais e não ao conjunto da cidade. A diferença entre loteamento e desmembramento consiste no fato de que no primeiro ocorre a subdivisão dos lotes com a abertura, o prolongamento, a modificação ou ampliação de vias ou logradouros públicos, enquanto que, no segundo, não há alteração dos logradouros públicos. Ainda pode ocorrer o desdobramento, que divide a área do lote para formação de novo ou de novos lotes e o remembramento, que consiste na reunião de mais de um lote para formação de loteamento ou de outro lote (BRASIL, 2019).

A partir do tipo de parcelamento do solo, das edificações, do traçado das ruas (principal espaço livre presente nas cidades), surgem as diversas formas de apropriação dos espaços em suas características físico-espaciais e de relação com o usuário (DEL RIO, 1990), sendo representadas pelo desenho urbano.

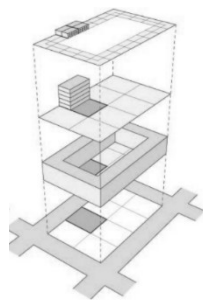
Lang (2005) classifica os processos de desenho urbano em quatro tipos: (a) desenho urbano “*total*”, em que são elaborados projetos de grande escala para toda a cidade ou para parte dela, por uma equipe de profissionais específica, que detém o controle sobre o processo, como foi o caso do Plano-Piloto de Brasília, de Lúcio Costa e o projeto Chandigarh, de Le Corbusier; (b) “*all of a piece*”, quando um projeto único, elaborado por uma equipe específica, possibilita a idealização de um desenho urbano produzido para o local, como o *masterplan* para o Loteamento Pedra Branca – Palhoça-SC; (c) “*piece-by-piece*”, no caso de decisões individuais que devem obedecer a um conjunto de normas gerais, controladas por zoneamentos, incentivos e penalidades, e (d) “*plug-in*”, com intervenções pontuais no tecido urbano que são capazes de produzir consequências benéficas para o entorno e, talvez, para toda a cidade.

Na cidade de Florianópolis, que serviu de base para a pesquisa, a partir da década de 1950, começaram a surgir loteamentos de parcelamentos “ordenados” em

contraposição aos “parcelamentos simples”, criados de maneira mais espontânea ao longo do tempo, caracterizados pelos pequenos empreendimentos, alguns estabelecidos de forma legal (loteamentos, condomínios) e, a maioria, de forma clandestina. Os empreendimentos de maior porte (grandes loteamentos, *resorts* e condomínios fechados) estabeleceram-se nas terras não parceladas, de uso comunal. Esses assentamentos estabeleceram-se, via de regra, através de empreendimentos legalizados, tendo produzido malhas regulares, embora, nos empreendimentos mais recentes, esse padrão tenha sido substituído por malhas cada vez mais descontínuas (REIS, 2010).

Sattrup e Strømman-Andersen (2013) propõem seis camadas para descrever a escala urbana, em níveis que vão desde a malha viária urbana até a organização interna dos edifícios. São elas: distrito (bairro), grade (traçado), quarteirão, lote, edificação e apartamento (Figura 4).

Figura 4 - Escala Urbana



Fonte: Sattrup; Strømman-Andersen (2013).

Berghauser Pont e Haupt (2009), por sua vez, trazem os conceitos de unidades espaciais do espaço urbano, como sendo (a) lote (*lot*); (b) ilha ou quadra (*island*); (c) tecido (*fabric*) – conjunto de quadras, e (d) bairro (*district*) – composto por tecidos.

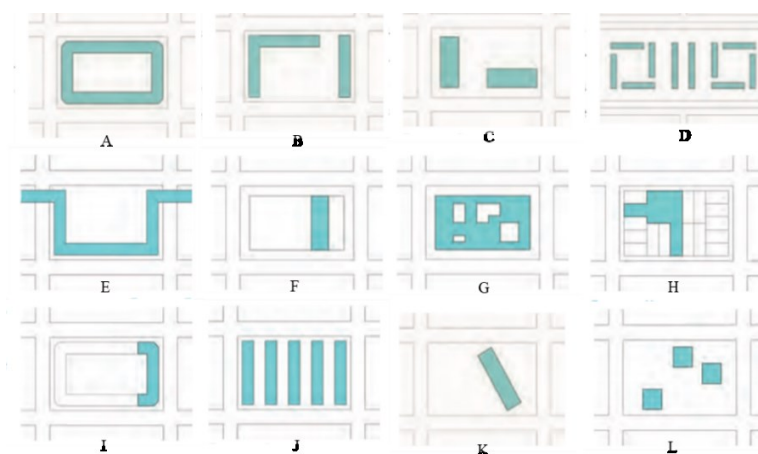
O lote é a unidade mínima do parcelamento do solo. Na expansão urbana da cidade tradicional, o parcelamento precede a urbanização, enquanto no conjunto moderno a ênfase é dada na urbanização e edificação, já que o loteamento não existe, embora se possa sempre identificar como lote o terreno debaixo do edifício (LAMAS, 1999).

As quadras são divididas em lotes, sendo a sua forma de parcelamento e ocupação uma das condicionantes fundamentais na imagem da cidade. A configuração e a ocupação das parcelas (lotes) determinam diretamente a forma e o conteúdo do seu miolo interno,

havendo possibilidades e variações infinitas de ocupação ao longo da história (LAMAS, 1999).

Noto (2017) apresenta doze esquemas de dissolução da quadra: (a) edifício quarteirão com pátio central; (b) associação entre edifícios com a definição (parcial) da rua corredor; (c) insinuação da quadra; (d) quarteirão sem ruas; (e) edifícios *a redent*; (f) placa e torre; (g) ocupação total da quadra com térreo de uso coletivo; (h) associações de lotes e a lógica do quarteirão; (i) complementação do quarteirão; (j) blocos alinhados de baixa altura; (k) edifício como unidade urbana, e (l) torres no parque (Figura 5).

Figura 5 – Tipologias de quadras



Fonte: Noto (2017).

As quadras apresentam diferentes graus de continuidade e descontinuidade, proximidade e afastamento entre edificações, implicando diferentes relações entre espaços construídos e o espaço livre público. O elemento essencial nesse tecido é o próprio edifício e suas relações (NETTO; VARGAS; SABOYA, 2012).

O tecido urbano é configurado pelo sistema viário, pelo padrão de parcelamento do solo (quadras e lotes), pela aglomeração e pelo isolamento das edificações, assim como pelos espaços livres (parques, praças), nos seus mais variados arranjos (REGO; MENEGUETTI, 2011).

A última unidade espacial definida por Berghauer Pont e Haupt (2009), o bairro, no tratamento cotidiano, não é bem definido nem segue padrões rígidos. No interior da malha, (conjunto de ruas e quadras), as quadras podem ser divididas de muitas maneiras,

sendo a falta de uniformidade muito positiva, pois a mistura de lotes grandes e pequenos com vários formatos garante a diversidade de ocupações de uso (SANTOS, 1988).

2.1.3 Densidade Urbana

A Densidade pode ser definida como a relação entre pessoas e terra disponível, medida em habitantes por hectare (10.000m²) (SANTOS, 1988). A densidade surge como instrumento para condicionar a performance (define a forma da cidade e qualidade) dos espaços públicos e áreas construídas. Não prescreve soluções ou formas edificadas específicas, mas define critérios para a forma da cidade, como processo de planejamento (LIMA; FREITAS, 2016).

A densidade pode determinar decisões de projetos para ocupação e parcelamento do solo, como questões envolvendo a interface público e privada, aspectos estéticos, conformação da rua, adequação dos tipos de edifícios a diferentes tipos de uso e, também, interfere nos assuntos ligados ao conforto lumínico.

Geralmente reconhece-se que a construção de alta densidade otimiza o uso do solo, reduz a necessidade de transporte e cria cidades com intensa atividade urbana e maior interação social, cultural e econômica (STEEMERS, 2003).

Se por um lado as altas densidades (compactação) favorecem um sistema urbano eficiente (maior vitalidade urbana, economia, maximização dos investimentos públicos, sensação de segurança), por outro, nas baixas densidades (dispersão), muitas vezes, o entorno está menos obstruído, o que pode proporcionar maior incidência de luz natural no interior dos ambientes. Sattrup e Strømman-Andersen (2013) questionam se a otimização da densidade urbana não colidirá com necessidades futuras de conforto e redução do consumo de energia nas edificações.

Os índices de densidade construída são utilizados com o objetivo de controle do uso e ocupação do solo, tais como o índice de aproveitamento – IA, taxa de ocupação – TO, gabarito máximo das edificações e afastamentos, definidos nos regulamentos como o plano diretor e os códigos de obras das cidades.

O índice de aproveitamento – IA é o valor de referência que define a área máxima a ser edificada, proporcionalmente à superfície do terreno. O IA mínimo é o valor de referência para avaliar o cumprimento da função social da propriedade urbana, e o IA máximo é o valor de referência passível de ser atingido (BRASIL, 2014). Os IA inibem construções de múltiplos andares, mas não garantem a proteção do acesso ao sol e à luz natural, pois não controlam completamente a geometria dos edifícios.

A taxa de ocupação – TO estabelece a relação entre a área da projeção horizontal da edificação e a superfície total do terreno (BRASIL, 2014), ou seja, relação entre área construída e não-construída (espaço aberto). Sua função é manter parte do terreno livre, equilibrar a relação entre espaços edificados e espaços livres (cheios e vazios). Jacobs (2013) defendeu a manutenção da TO dos lotes (entre 60% e 80%), para trazer as pessoas para as ruas públicas e parques. Em um detalhamento maior, pode-se adotar uma taxa de ocupação que sirva para o pavimento térreo (garagem, comércio) e outra para o corpo da torre (pavimentos tipo) (PEREZ, 2013).

O tamanho do lote, o total da sua área que pode ser ocupada (TO) e a altura da construção a ser erguida em relação ao total da área a ser construída (IA) revelam as dimensões mais visíveis da densidade e o total de espaço que é ou será construído e ocupado por atividades e edificações (ACIOLY; DAVIDSON, 1998).

A correlação entre os dois índices concentra-se no fato de que o IA máximo será empregado dentro dos limites demarcados pela TO máxima, de forma que, aumentando-se o primeiro, a metragem quadrada a mais ocasionará sua elevação vertical, enquanto o aumento da taxa de ocupação permitirá construções mais baixas, mas sacrificará espaços livres dentro do lote. Quanto mais se estende a superfície do lote passível de ocupação, menor será a verticalização da construção. O espaço de possibilidades de projeto fica condicionado a essas limitações, entre a horizontalidade e a verticalidade (SILVA, 1997).

Os afastamentos mínimos obrigatórios são determinados pelas medidas mínimas que afastam o edifício dos limites do terreno, criando áreas livres de construção. Suas origens estão atreladas à necessidade de reserva de espaço para ampliações de calçadas, futuros alargamentos viários, ou afastamento dos edifícios do espaço público (TALEN, 2012).

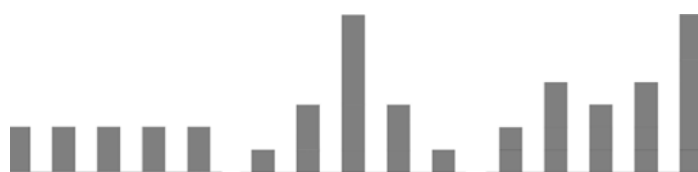
Van Esch, Looman e de Bruin-Hordijk (2012) procuraram encontrar uma disposição urbana adequada para edificações, de forma a garantir os maiores níveis de ganho solar e concluíram que o parâmetro mais influente na quantidade de radiação solar é o afastamento.

Berghauser Pont e Haupt (2009) apontam que os índices urbanísticos são, em certa medida, informativos, mas nenhum deles pode ser usado sozinho para descrever adequadamente as propriedades espaciais na direção da definição de tipos urbanos através do uso de densidade.

O gabarito, outro índice urbanístico, controla as alturas de cada edifício em relação ao lote, o que denota relação direta com a constituição da morfologia urbana, já que incide sobre o desenho do conjunto edificado e dos espaços vazios da cidade. Esse é um dos mais antigos parâmetros utilizados no controle da forma urbana (BARNETT, 2011).

Cheng et al. (2006a) analisaram três diferentes formas urbanas, uniforme (a), pirâmide (b) e híbrida (c), com mesma TO, IA e altura média das edificações, e encontraram como resultado a configuração híbrida com valores mais significativos, sugerindo que a variação de altura cria menor área obstruída (Figura 6).

Figura 6 – Diferentes formas urbanas: (a) uniforme, (b) pirâmide e (c) híbrida



Fonte: Cheng *et al.* (2006).

Ao planejar edifícios mais altos, pode-se fornecer mais espaço aberto sem perder o número de habitações (e a densidade populacional). Entretanto, a altura da construção, por si só, não contribui muito para uma compreensão da densidade e da forma urbana, ou para a relação entre os dois (MEDINA, 2018).

Em relação às regras de altura dos edifícios, busca-se o máximo de altura realizável que permita um retorno econômico. Além dessa altura, torna-se muito cara a construção de novos andares. Essa regra também é dependente do contexto histórico/científico, mas ela se relaciona com dados máximos de exposição à luz solar, regulação das densidades e da forma (LEHNERER, 2009).

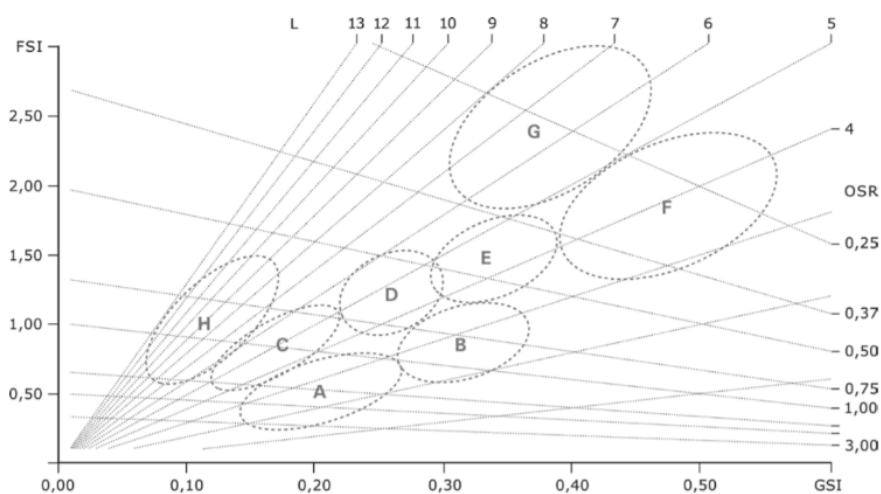
Quanto aos efeitos dos cânions urbanos, Suga (2005) destaca a relação entre a altura do prédio (H) e a largura da caixa de rua (W). Em estudo na cidade de Curitiba, onde não se impõem limites de gabarito, analisa a relação $H/W=1$ e $H/W=2$. Para cânions urbanos profundos, haverá uma menor quantidade de luz natural disponível para os ambientes inferiores.

O plano diretor de Balneário Camboriú (SC) também não estabelece limite de gabarito para algumas zonas da cidade. Isso quer dizer que apenas o IA e o TO limitam a volumetria dos edifícios, resultando em edifícios excessivamente altos em lotes desproporcionalmente pequenos. Então, o IA é utilizado, com a finalidade de segurar o processo de verticalização e adensamento (AGUIAR, 2017).

Além das medidas mais tradicionais, mas não muito conhecido no contexto brasileiro, está o Índice de Espaço Aberto (*Open Space Ratio – OSR*). Foi introduzido na década de 1920 por Anton Hoenig, que propôs um mínimo de 1m^2 de espaço aberto para cada 1m^2 de área construída (BERGHAUSERPONT; HAUPT, 2007).

O OSR mede a proporção entre as áreas não construídas e a área total construída em um recorte, calculado através da divisão das áreas abertas pelas áreas construídas, podendo ser calculado, também, pela equação $[1 - (TO/100)] / IA$ (BERGHAUSERPONT; HAUPT, 2007). Uma edificação com 20.000 ft^2 (pés quadrados) de área construída, exemplo apresentado no zoneamento da cidade de Nova Iorque, terá o valor do OSR de 20. O total de 4.000 ft^2 de espaço aberto será necessário da área do lote ($0.20 \times 2.000\text{ ft}^2$) (NYC, 2011).

Uma maneira de representar simultaneamente os valores de IA, TO, gabarito e OSR, é através da ferramenta *Spacemate* criada por Berghauser Pont; Haupt (2009) (Figura 7). No eixo vertical encontra-se o IA (*Floor Space Index – FSI*), enquanto que no eixo horizontal está a TO (*Ground Space Index – GSI*). Um terceiro “eixo”, oblíquo, representa o gabarito (L), obtido a partir da relação entre IA e TO. E por fim, no eixo oblíquo oposto ao gabarito, está o OSR.

Figura 7 – *Spacemate*

Fonte: Berghauser Pont e Haupt (2009).

Na linha oblíqua do gabarito 6, há diversas combinações de IA e TO, desde edificações com área construída, por exemplo, $TO=40\%$, resultando no $IA=2,5$ (G), ou edificações com menor área, $TO=20\%$, resultando no $IA=1,3$ (C). Inversamente, identificam-se lotes com mesmo IA e diferentes TO, representados por uma linha horizontal que, à medida que fosse da esquerda (menor TO – edificações altas e “magras”) em direção à direita (maior TO – edificações baixas e “gordas”), cruza as linhas dos gabaritos.

As áreas A e B demarcam as áreas construídas de edificações de gabarito 2 a 4 e dividem-se em áreas espaçosas e/ou compactas, resultando valores baixos de IA e TO. As áreas C, D, E, F, contemplam edificações de gabaritos 3 a 6, e 5 a 8, com IA baixo e TO alto. Por fim, G e H, acima de gabarito 7, apresentam valores de IA alto e TO baixo (STEADMAN, 2014). Assim, da combinação dos índices urbanísticos, diferentes formas urbanas são criadas, influenciando diferentemente na disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes.

2.2 A LUZ NATURAL NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

2.2.1 O espaço naturalmente iluminado

A percepção da luz natural nos espaços é um importante aspecto a ser considerado nos projetos arquitetônicos e urbanos, que influenciam na maneira de vivenciar o espaço. A luz natural não é apenas reveladora da forma (DEKAY, 2010). Segundo Louis Khan, “a luz natural dá vida aos espaços”, definindo a qualidade por meio dos detalhes, elementos construtivos, materiais e conforto interior (KHAN, 1961).

A luz natural alcança efetivamente o ambiente interno através das aberturas. (GAGNE; ANDERSEN, 2011). É geralmente considerada como a totalidade da radiação visível proveniente do céu e, quando visível, do sol durante as horas do dia. A fonte de toda a luz natural é de fato o Sol (MARDALJEVIC, 2013). A luz natural se propaga nos ambientes internos, utilizando-se o conceito de divisão de fluxo, em que a luz natural incidente é dividida em três componentes: celeste (CC), refletida interna (CRI) e refletida externa (CRE). A soma dessas componentes gera o total de luz natural que atinge determinado ponto no ambiente interno (DEKAY; BROWN, 2001).

A área no interior do ambiente iluminada naturalmente (*Daylit*) corresponde à área na qual um nível de iluminação mínimo específico de uma determinada tarefa é mantido para uma proporção significativa do ano em que é ocupada (REINHART, 2005).

Ratti, Baker e Steemers (2005) determinam limites dentro do ambiente e empregam os conceitos de “zona passiva” e “zona não-passiva”. Para os autores, a zona passiva diz respeito às partes da edificação nas quais é possível o aproveitamento, dentre outros aspectos, da luz natural. É a área que se localiza no perímetro da edificação com profundidade de no máximo seis metros da fachada, ou até duas vezes a altura do pé direito. Partes da edificação com até 6 metros da fachada apresentaram resultados de quase 50% mais significativo na redução de energia, quando comparados com as áreas não passivas. O restante da área é considerado como área não-passiva.

Steadman *et al.* (2000) adotaram o conceito de espaços iluminados naturalmente (zona passiva) e não iluminados naturalmente como um critério na classificação das formas construídas. Um grupo de edificações de 14 metros de profundidade tem potencial

de ser iluminado e ventilado naturalmente, enquanto que o outro grupo, entre 18 e 22 metros de profundidade, provavelmente requer o uso de ar condicionado e iluminação artificial.

Van Den Wymelenberg (2014) reúne aspectos importantes da luz natural, considerando o uso da luz natural como fonte primária para suprir as demandas visuais dos usuários durante as horas do dia, a experiência de conforto visual do ambiente, a integração do ambiente interno com o externo e a economia de energia.

Reinhart e Wienold (2011) definem espaço iluminado naturalmente como de alta satisfação dos usuários com o conforto visual e térmico, e baixo uso geral de energia para iluminação, aquecimento e refrigeração, com a interação de luz natural e a geometria das edificações para proporcionar um ambiente visualmente estimulante, saudável e interiormente produtivo.

2.2.2 Medidas de desempenho da luz natural

As medidas baseadas em iluminâncias são as mais difundidas e utilizadas há quase um século para a avaliação do desempenho da luz natural em ambientes internos (REINHART; RAKHA; WEISSMAN, 2014). As mais antigas têm abordagem estática, baseadas em análises pontuais do ambiente, para uma data determinada, e são limitadas ao avaliar os efeitos das estações do ano, horas do dia, luz solar direta, condições variáveis do céu, orientação ou posição da edificação (NABIL; MARDALJEVIC, 2006). O método mais comum dessa abordagem é o fator de luz diurna (FLD).

O Fator de Luz Diurna – FLD (*Daylight Factor* – DF) foi utilizado inicialmente como parâmetro para a análise da luz natural em ambientes internos. É definido como a relação entre a iluminância interna de um ponto no interior do ambiente e a iluminância horizontal externa desobstruída sob o céu encoberto (NABIL; MARDALJEVIC, 2006).

Outra medida utilizada é o Fator de Luz Diurna Vertical (FLDV), que é utilizado como um parâmetro para justificar a provisão de iluminação natural nos edifícios no ambiente urbano (LI *et al.*, 2009). É definido como a relação em porcentagem da

iluminância em uma superfície vertical de um edifício com a iluminância horizontal externa, excluindo a luz direta do Sol.

Littlefair (2011) determinou a obstrução máxima recomendada à vizinhança, para o Reino Unido, em 25° a partir da linha do horizonte. A partir desse ângulo, determinou-se o valor de 27% correspondente à porção de céu desobstruída. Esse valor corresponde ao mínimo de FLDV que as fachadas devem receber para a realização de atividades visuais no espaço interno.

Ng (2005) analisa a relação entre o FLDV e as diferenças de alturas de edificações, constando-se que os maiores valores para os primeiros pavimentos podem ser encontrados quando a diferença de altura é grande entre os edifícios da vizinhança.

Scalco e Pereira (2016) desenvolvem método, aplicado em cenários virtuais, para investigar o impacto de edificações no acesso à iluminação natural com abordagem estática (FLDV – Fator de Luz Diurna Vertical) em vizinhanças urbanas. Como resultado, apontam para a configuração do ambiente urbano com diferentes formas arquitetônicas entre as edificações vizinhas e parcelamentos irregulares, para que os impactos adversos em relação à iluminação natural sejam minimizados.

A principal limitação no uso dessas métricas é a impossibilidade de gerar dados relativos sem utilização de parâmetros climáticos e de orientação, adotando apenas a condição de luz difusa (céu encoberto padrão CIE).

Com o avanço da tecnologia de *softwares*, a disponibilidade de luz natural em ambientes internos vem sendo avaliada através das medidas dinâmicas de desempenho, com o uso de simulação computacional. Conhecida como modelagem baseada no clima (*Climate-based Daylight modelling – CBDM*), ela se dá por meio de uma base anual de dados, promovendo uma maior aproximação do projeto à sua realidade (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006). Ao considerar a variação de iluminância ao longo do dia e do ano, permite avaliar os efeitos da orientação, da latitude, sendo sensível ao uso do espaço, conforme necessidade de iluminação e tempo de ocupação.

Os arquivos climáticos do Ano Típico de Referência – TRY (Typical Reference Year), ou SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*) são bastante utilizados. Esses arquivos fornecem perfis típicos do clima de uma localidade, a partir de dados climáticos.

Entre as medidas dinâmicas, a Autonomia da Luz Natural – DA é utilizada para analisar a porcentagem das horas ocupadas por ano em que a iluminância no plano de trabalho atinge um valor previamente estipulado, apenas pela iluminação natural (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006).

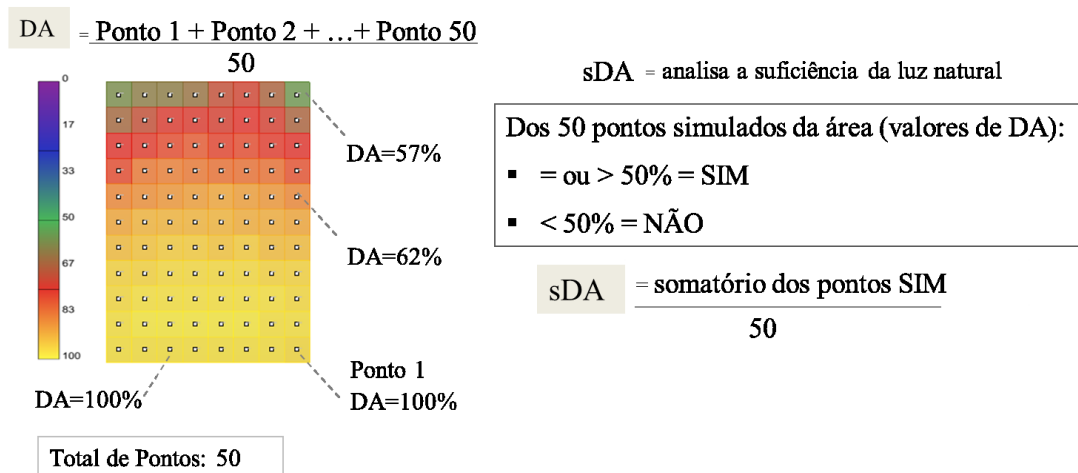
Em 2013, a Agência de Financiamento de Educação do Reino Unido (EFA, 2014) considerou a modelagem baseada no clima um requisito obrigatório para avaliar projetos submetidos ao programa de construção de escolas (Priority Schools Building Programme – PSBP), utilizando-se as Iluminâncias Úteis – UDI, introduzidas por Nabil; Mardaljevic (2006). O UDI é a porcentagem de horas em um ano em que a iluminância no plano de trabalho atinge um valor dentro de uma variação determinada como confortável (100 a 3.000 lux). Na primeira publicação em 2005 ((MARDALJEVIC, 2015), o UDI tinha limites entre 100 e 2.000 lux.

A IES (2012) – Illuminating Engineering Society através da Lighting Measurements – LM83 publica documento que estabelece duas novas medidas dinâmicas de desempenho da luz natural: a Autonomia Espacial da Luz Natural – sDA (*Spatial Daylight Autonomy*) e a Exposição anual à luz solar (Annual Sunlight Exposure - ASE), que analisa a porcentagem que uma determinada área excede um nível específico de luz solar direta para um número de horas por ano (IESNA, 2012).

A Autonomia Espacial da Luz Natural – sDA é a medida definida como uma porcentagem das horas ocupadas por ano em que a iluminância no plano de trabalho atinge um valor previamente estipulado, apenas pela iluminação natural.

A Figura 8 mostra a diferença entre DA e sDA. Enquanto os valores de DA simulados representam cada ponto de um determinado ambiente, os valores de sDA fazem referência aos valores médios de DA que computaram a quantidade de lux mínima estipulada para o ambiente.

Figura 8 – Diferença entre DA e sDA



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Assim, $sDA_{300,50\%}$ é a área em que se consegue obter pelo menos 300 lux nos ambientes regularmente ocupados da edificação em um período das 8hs às 18hs por 50% das horas do ano, ou 1825 horas anuais (IESNA, 2012).

2.2.3 Direito à luz natural: legislação arquitetônica e urbana

Boubekri (2008) apresenta três vertentes comuns de legislação para a luz natural: (a) acesso que os edifícios têm à luz solar, por um período de tempo predeterminado, geralmente definido pela legislação local que estipula a altura máxima dos edifícios e afastamentos entre divisas; (b) exigências de dimensionamento das aberturas, e (c) níveis de luz natural no interior dos ambientes.

A ocupação e o controle do solo dos índices urbanísticos são estabelecidos nos (a) planos diretores e (b) códigos de obras, que determinam os vãos de iluminação mínimos exigidos. Os níveis de luz natural ficam a cargo, entre outros regulamentos, da ABNT NBR 15575 (ABNT, 2013), que, em processo de revisão, tenta incluir e correlacionar o dimensionamento dos ambientes e aberturas, com os níveis de luz natural.

A proporção indicada para aberturas dos compartimentos nos regulamentos não considera a influência do entorno urbano, e sim a suficiência para iluminação mínima dos ambientes quando não existem obstruções externas. O que se averiguou é que as exigências em relação ao dimensionamento das aberturas podem não garantir a incidência da luz natural no interior dos ambientes (AMARAL; PEREIRA, 1999).

Em relação aos níveis de luz natural no interior dos ambientes, as normas existentes, tais como a NBR ISO/CIE 8995 (ABNT, 2013), discorrem sobre os valores de iluminância e ofuscamento a serem alcançados em ambientes de trabalho, e a americana Illuminating Engineering Society – IES LM83 (IESNA, 2012) traz recomendações quanto ao desempenho mínimo da iluminação natural. Percebe-se diferença do nível mínimo de iluminância para a realização de uma mesma atividade nas diferentes normas existentes.

O desempenho para uma atividade realizada, por exemplo, numa sala de informática, na NBR ISO/CIE 8995 (ABNT, 2013) é de 500 lux, enquanto na IES LM83 (IESNA, 2012) é de 300 lux. Segundo Boyce (1996), historicamente há grandes variações de indicadores dos níveis mínimos de iluminâncias, de acordo com situações políticas e econômicas.

Pesquisas sugerem uma menor tolerância aos altos níveis de iluminância. Além disso, os estudos foram invariavelmente realizados em espaços de escritórios, onde a tecnologia utilizada antes de meados dos anos 90 tendia a ser mais propensa a problemas de brilho do que as usadas hoje (MARDALJEVIC, 2015).

Além disso, há tolerância do usuário quanto aos níveis mínimos de iluminância e máximos de ofuscamento, que podem variar de acordo com o clima da cidade ou mesmo da qualidade daquilo que se avista do exterior. Nesse sentido, a certificação internacional para construções sustentáveis, Leadership in Energy and Environmental Design – LEED, (USGBC, 2020), apresenta, em seu método, avaliação quanto à importância da vista do exterior, já que reconhece sua influência sobre a percepção do usuário para a avaliação de conforto.

Atento ao caráter potencialmente complexo dos padrões espaciais da cidade brasileira e a importância do seu conhecimento, tece-se uma crítica aos indicadores

urbanos usuais, baseados na intensidade de cobertura ou presença de características ou propriedades – e não verdadeiramente de desempenho (NETTO; KRAFTA, 2009).

Diferentemente dos códigos tradicionais de zoneamento que focam no uso da terra e nas densidades, citam-se os códigos baseados na forma (*form-based codes* – FBC). Os FBC são baseados em compactar a forma urbana e diversificar o uso do solo. (TALEN, 2013).

Os FBC são códigos semelhantes ao zoneamento tradicional que, entretanto, têm como foco a tipologia das edificações e suas relações com o espaço público. Portanto, além de estabelecer índices máximos tais como gabaritos e afastamentos, os FBC definem tipos aceitáveis para as diversas áreas da cidade, estabelecendo relações que privilegiam a proximidade entre as edificações e a rua, a permeabilidade interior/exterior, a continuidade das fachadas e a criação de áreas aos pedestres (PAROLEK; PAROLEK; CRAWFORD, 2008), usos comerciais no térreo, garagens apenas nos fundos do terreno, etc.

As dificuldades da cidade brasileira tornam explícitos os problemas entre o ideal das prescrições generalistas dos planos normativos e a complexidade das transformações urbanas, bem como dos impactos delas sobre as dinâmicas sociais e econômicas (NETTO; KRAFTA, 2009).

Diante disso, os regulamentos tradicionais podem não ser suficientes para assegurar o desempenho da luz natural, especialmente em áreas altamente densas. Assim, estudos desenvolvem propostas que visam controlar a obstrução do céu, a fim de garantir a disponibilidade à luz natural.

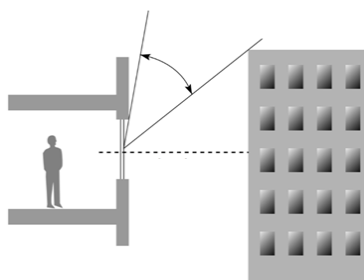
2.2.4 Fator de visão do céu e ângulo de obstrução vertical

A implantação de novas edificações pode restringir a luz natural nas edificações existentes (LITTLEFAIR, 1998), representando obstrução à abóbada celeste. A projeção de uma edificação na abóbada celeste é a fração do céu por ela obstruída para o observador (ou ainda, representa a parte obstruída do fluxo de radiação) (SOUZA *et al.*, 2010).

A avaliação da obstrução do horizonte à entrada de radiação pode ser obtida por estimativa ou reconhecimento do Fator de Visão do Céu – FVC (*Sky View Factor – SVF*) (HÄMMERLE *et al.*, 2011), que é a razão entre a porção de céu visível de um determinado ponto e o céu potencialmente disponível a partir desse ponto (CHAPMAN; THORNES; BRADLEY, 2002). Essa razão resulta em valores entre 0 (zero) e 1 (um), sendo o valor 1 correspondente a uma área livre de obstáculos entre o ponto escolhido e o céu (100% de acesso solar) e 0 correspondente a uma área totalmente obstruída (WATSON; JOHNSON, 1987).

A Figura 9 mostra o ângulo vertical do céu, que corresponde ao valor entre 0 e 90. Se não houver obstrução, o ângulo vertical do céu é igual a 90 (O’CONNOR *et al.*, 1997). Essa é uma maneira geométrica simples de expressar as distâncias pelas quais as fachadas dos edifícios estão espaçadas em relação à sua altura.

Figura 9 – Ângulo Vertical do Céu



Fonte: O’Connor *et al.* (1997).

Vários métodos encontrados na literatura podem determinar o FVC, como os geométricos, fotografia através de câmera digital com lente olho de peixe, processamento de imagens, diagramas ou gráficos, simulações computacionais 3D (UNGER, 2004), mapeamento do percentual da área de céu visível da abóbada celeste obtida na máscara de sombra (DIAS *et al.*, 2018), etc.

Para Ng (2005), uma área de céu visível seria um indicador da performance da luz natural. Ele propõe o parâmetro Área de Visão Desobstruída (AVD), que consiste na determinação de um cone de visão de céu dentro do qual determinada parcela de visão do céu estaria desobstruída.

Leder e Pereira (2005) analisam o impacto da obstrução do céu na disponibilidade de luz natural através do Fator da Luz do Dia (FLD), tendo como um dos parâmetros de análise a Janela de Céu Preferível – JCP, que consiste na definição de uma porção do céu

que apresenta maior potencial de iluminação no ambiente interno, sendo representada por limites horizontais de 45° à esquerda e 45° à direita e limites verticais de 15° inferior e 60° superior, o que corresponde a um percentual de céu visível de aproximadamente 32%.

Trabalho de Rosa, Scalco e Pereira (2020) analisou a aplicabilidade da JCP, considerando simulações de modelagem de Luz Natural com base no clima (CBDMM), identificando-se que as componentes direta e refletida da luz têm um impacto significativo no aumento da disponibilidade de luz natural no ambiente interno, mesmo quando a parcela mais significativa da abóbada está obstruída.

Estudo para avaliar os impactos de futuras edificações de alta densidade, no bairro de Narmak, em Tehran, através de alteração no FVC, mostra que, com o aumento da densidade e o número de pavimentos, há uma diminuição do FVC (RAFIEIAN; RAD; SHARIFI, 2014).

Mohajeri *et al.* (2015) apresentam método que analisa a relação entre FVC, densidade e altura da edificação para dez formas urbanas baseadas nas configurações de Stewart e Oke (2012) e apresentam faixas de valores, como, por exemplo, de configuração compacta de edificações altas (>25m), variando o FVC entre 0,2 e 0,4 e a densidade de 0,4 a 0,6, enquanto que na configuração aberta de edificações entre 3 e 10 metros, a densidade varia entre 0,2 e 0,4 e FVC de 0,6 a 0,9.

Littlefair (2011) discute maneiras de garantir acesso solar em situações de obstruções e indica, para latitudes menores que 40°, o ângulo de obstrução menor que 40° como o limite para uma abertura receber luz natural.

Knowles (2003) desenvolveu o conceito de envelope solar, o maior volume que uma edificação pode ocupar de forma a permitir o acesso ao sol e à luz natural da vizinhança imediata. No entanto, existem lacunas no uso do envelope solar na prática, posto que não inclui as edificações vizinhas no cálculo da obstrução e utiliza um tempo fixo de início e fim para a seleção de horas específicas de acesso solar direto. De Luca e Dogan (2019) geram envelopes solares incluindo a obstrução do entorno e a possibilidade de selecionar a quantidade e a qualidade das horas solares para diferentes objetivos (quantidade de horas e porcentagem das horas de acesso solar direto).

Os estudos mostram que o FVC pode revelar como o arranjo espacial e a altura das edificações modificam o ambiente urbano por meio da atenuação da radiação solar e do sombreamento.

2.2.5 Arquitetura e Automação

O início dos modelos virtuais tridimensionais (3D) em grande escala das cidades abriu novas oportunidades para pesquisas sobre a forma urbana construída (STEADMAN; EVANS; BATTY, 2009).

As ferramentas de simulação de desempenho são como um facilitador de projeto (SARATSIS; DOGAN; REINHART, 2017), importantes para as análises de desempenho da luz natural no interior dos ambientes (PEREIRA; PEREIRA; CLARO, 2008), permitindo aos usuários basear-se no clima para todo o ano, considerando cenários altamente específicos.

Muitas vezes há dificuldade de modelar geometrias urbanas complexas, em *softwares* que nem sempre trabalham na escala da edificação. Reinhart e Fitz (2006) mostram resultados de pesquisa com participantes de 27 países, que projetam considerando a luz natural, mas que não realizam simulações computacionais para prever os resultados de desempenho, como continua sendo o caso de muitos escritórios brasileiros de arquitetura e urbanismo atualmente.

Entretanto, as relações entre arquitetura e automação vêm sendo cada vez mais suportadas por máquinas de controle numérico (computadores e equipamentos de fabricação digital) quanto mais os conceitos que as sustentam se apropriam das ciências exatas (algoritmo, fractal, etc.), ciências naturais (complexidade, processos generativos, etc.), ciências humanas e artes (complexidade, performances, etc.) (CELANI, 2018).

Novas formas e técnicas computacionais foram desenvolvidas para facilitar o desenho e criar uma relação quantitativa conveniente entre o entorno e o envelope, levando em consideração os obstáculos que influenciam o projeto do edifício. Isso formou o conceito de design paramétrico em arquitetura, a fim de lidar com projetos complexos e obter resultados mais precisos (ELTAWHEEL; SU, 2017).

Isso significa que a geração e a alteração de elementos dentro de um projeto são controladas com conjuntos de regras gerados por algoritmos específicos. Os elementos são desenhados automaticamente com base em algoritmos definidos pelo usuário, os quais podem ser facilmente controlados. Nesse sentido, permite expandir, de modo ágil, o número de combinações entre as variáveis (FLORIO, 2012).

A arquitetura performativa, a arquitetura baseada em desempenho, é aquela que alcança soluções ótimas de projeto dentro dos critérios estabelecidos pelos projetistas. Nessa abordagem, a forma do edifício é um elemento secundário, uma vez que ela é submetida a uma avaliação dos critérios de desempenho elencados pelos projetistas, podendo ser modificada de acordo com o resultado dessa avaliação, de maneira a produzir uma solução otimizada (COUTO, 2018).

Determinar diferentes aspectos performativos de um determinado projeto, reconciliando muitas vezes objetivos conflitantes para o desempenho e gerando formas criativas e eficazes são alguns dos principais desafios do projeto baseado em desempenho (KOLAREVIC; MALWAKI, 2005).

A identificação de diferentes configurações urbanas resultantes dos diversos cenários das cidades, para analisar o desempenho da luz natural, pode ser realizada no *software CityZoom*, desenvolvido no SimmLab – Laboratório para simulação e modelagem em arquitetura e urbanismo, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. O CityZoom é um sistema de suporte à decisão para planejamento urbano. CityZoom foi desenvolvido especialmente para permitir uma análise integrada de diversos fatores da malha urbana, com a utilização de módulos independentes. Dentre os módulos que já foram desenvolvidos está um simulador de normativas urbanísticas, que utiliza regras do plano diretor para determinar o potencial construtivo de quadras e lotes. Dessa maneira, o planejador urbano pode testar decisões em um ambiente controlado, prevendo suas consequências de maneira eficiente, por meio de um ciclo de prototipação envolvendo as diversas fases do projeto urbano. (TURKIENICZ; GONÇALVES; GRAZZIOTIN, 2008).

Comumente conhecido, o *software Rhinoceros 6*, criado por Robert McNeel & Associates (MCNEEL, 2017), é uma ferramenta de modelagem 3D capaz de criar e analisar geometrias complexas, que pode ser acoplada como uma extensão de algoritmo

generativo chamado *Grasshopper*. O *Grasshopper* permite ao usuário manipular facilmente as dimensões dos modelos, definindo componentes geradores de formas, que podem ser otimizados através do uso de controles deslizantes e expressões matemáticas. (DAVIDSON, 2015).

Ferramentas digitais de projetos focadas em desempenho podem ser utilizadas tanto para avaliação das soluções adotadas como para a geração de novas soluções, envolvendo uma série de parâmetros arquitetônicos e urbanos. Os resultados de desempenho da combinação desses parâmetros podem ser conhecidos ainda nas etapas iniciais de projeto, determinando as estratégias a serem utilizadas nos projetos e visando melhor desempenho da luz natural no interior dos ambientes construídos.

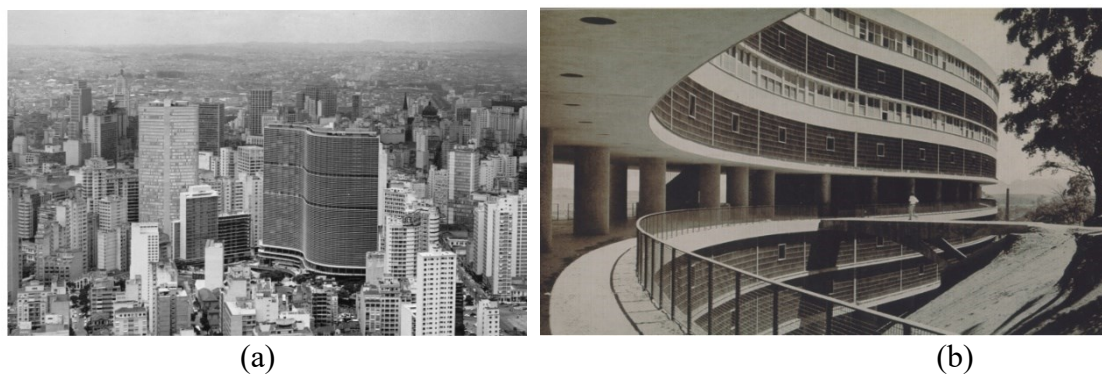
2.3 CARACTERÍSTICAS ARQUITETÔNICAS E DESEMPENHO DA LUZ NATURAL

2.3.1 A geometria das edificações

A geometria e as proporções das edificações, que podem variar significativamente, refletem na disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes. Na classificação das formas, assume-se que, em grande parte, a geometria externa das edificações em planta é ortogonal. As paredes externas estão alinhadas no plano em um sistema de coordenadas retangular e todos os cantos formados por essas paredes são ângulos retos (STEADMAN *et al.*, 2000). A forma de muitos edifícios é limitada por uma exigência de luz e ventilação naturais, mas essas exigências são quebradas com o uso de iluminação artificial e ar condicionado (STEADMAN; EVANS; BATTY, 2009).

De acordo com o aumento da área do pavimento de uma edificação, o volume (massa) torna-se maior e se alonga, na direção horizontal, na direção vertical, ou em ambas. A profundidade pode se estender no plano em linha reta, constituindo as edificações simples laminares, conforme Figura 10, que mostra o edifício Copan, de Oscar Niemeyer, e o conjunto do Pedregulho, de Affonso Reidy, ambos em formato de “S”.

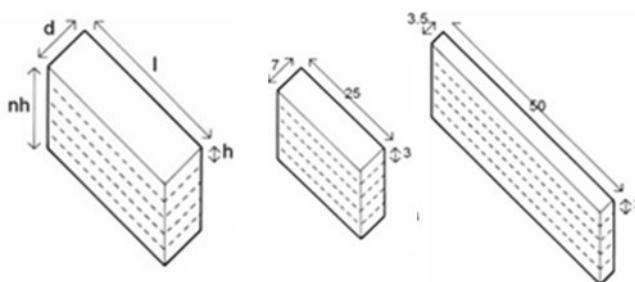
Figura 10 – Formato em “S” – o edifício Copan (a) e o conjunto Pedregulho (b)



Fonte: ARCHDAILY (2020).

A relação entre o volume de uma edificação e sua área de parede segue uma regra alométrica que interfere na forma de o edifício se modificar para obter o máximo possível de área de superfície, à medida que aumenta de tamanho. Para um bloco retangular residencial aumentar a quantidade de ambientes, a edificação deve alongar-se (l =profundidade), preservando a largura (d) de dois ambientes (excluindo circulação comum e ambientes não iluminados naturalmente) para manter a incidência da luz natural. Na Figura 11, o volume ($V= d \times n \times h \times l$) e a área de parede ($W=2 \times n \times h \times l$), sendo $V/W=d \times 2$, onde d =largura, l =profundidade, $(n \times h)$ gabarito e h =altura do pavimento, de duas edificações, apresentam mesmo volume, mas a relação V/W computada foi de 3,5 para a edificação de $d=7$, e 1,75 da edificação de $d=3,5$ (descontando paredes acabadas). (STEADMAN; EVANS; BATTY, 2009) (Figura 11).

Figura 11 – Relação entre W e V



Fonte: Steadman; Evans; Batty (2009).

A incidência da luz natural e a profundidade dos ambientes evitam que os edifícios sejam mais profundos do que 7 e 8 metros ($V/W= 3,5$) e os custos de capital e

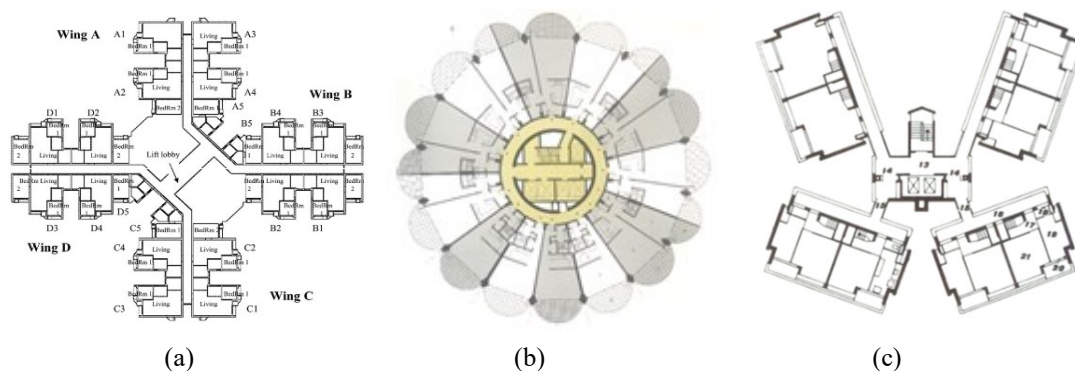
funcionamento impedem de terem profundidades menores. Para edificações não residenciais, a largura alcança 14 metros (7 de profundidade de dois ambientes, desconsiderando circulação comum, e ambientes não iluminados naturalmente) (STEADMAN; EVANS; BATTY, 2009).

Edifícios assumiram também configurações de planta em “alfabeto” (DEKAY, 2010), tais como os formatos de L, T, E, F, H, U, C, etc., com reentrâncias e fachadas adjacentes. Além da obstrução do entorno urbano, apresentam também a obstrução da própria edificação.

A Figura 12 mostra três diferentes plantas de diferentes geometrias de edificações, em “X”, (a) residencial Amoy Garden, Hong Kong, sendo este formato chamado de “*Harmony block*”, com características de edifício alto (aproximadamente 50 m) com 18 residências por andar. Em formato cilíndrico (b), as torres da Marina City, de Bertrand Goldberg, Chicago, de 1964, de 60 andares, eram as estruturas de concreto mais altas do mundo, edificações híbridas, com primeiros pavimentos ocupados com espaços comerciais, uma marina (700 barcos), auditório, salas comerciais, estacionamentos para 900 carros, além dos apartamentos residenciais.

Com formato de “H” (c), o Edifício Keeling House, de Densy Lasdun, em Londres, tem pequena TO dos blocos agrupados e relação mais aberta com o entorno. As passarelas, que conectam com pequenos balcões de acesso em pavimentos alternados, são compartilhadas por dois apartamentos e para elas se abrem apenas as janelas de vestíbulos, escadas e banheiros.

Figura 12 – Amoy Garden (a), Torres Marina City (b) e Edifício Keeling House (c)

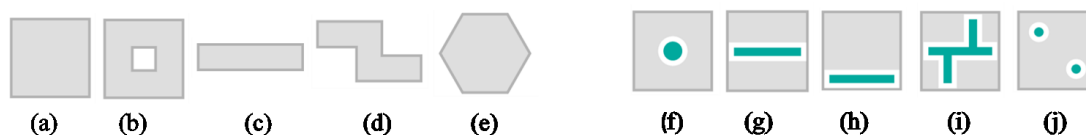


Fonte: Zahid Iqbal; Chan (2016) (a) / French (2009) (b e c)

O arranjo geral da planta baixa permite grande perímetro da fachada à incidência de luz natural no interior.

Dogan, Saratsis e Reinhart (2015a) apresentam pesquisa que correlacionam diferentes geometrias de edificações com diversos leiautes internos para analisar os custos com energia. Na Figura 13 estão as geometrias (a – bloco; b – ocupação perimetral; c – linear; d – linear com variação; e – forma livre) e os leiautes internos da circulação comum (f – circulação central; g – corredor central, h – corredor nos cantos da planta; i – corredor compartimentado; j – corredor de planta livre).

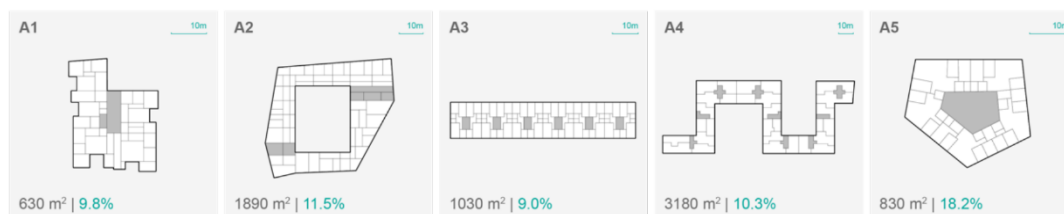
Figura 13 – Geometria de diferentes edificações e leiautes internos



Fonte: Dogan; Saratsis; Reinhart (2015a)

Cada leiaute interno é relacionado com as diversas geometrias das edificações e é criada uma série de combinações. Na Figura 14, o primeiro valor é igual à metragem quadrada total do pavimento e o segundo valor é referente à porcentagem de circulação comum, que, quanto menor, melhor o aproveitamento do espaço interno, atentando-se que, além da geometria da edificação, com grande impacto na eficiência energética, a planta tipo e a organização do leiaute interno também são parâmetros importantes para minimizar custos com energia (DOGAN; SARATSI; REINHART, 2015a).

Figura 14 – Correlação das geometrias e o leiaute de circulação central (f)

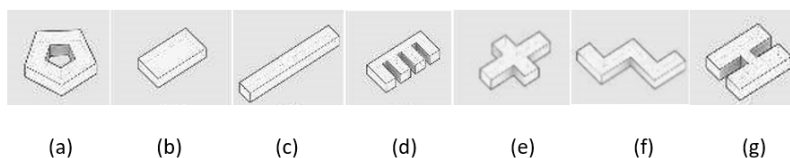


Fonte: Dogan; Saratsis; Reinhart (2015a).

Dogan, Saratsis e Reinhart (2015b) analisam a fachada externa de diferentes tipologias e a relaciona com a área útil do pavimento (análise econômica). A circulação

comum é avaliada com a relação da área útil do pavimento com o comprimento do corredor (evitar corredores superdimensionados). Para cada tipologia é calculado o percurso menor de cada ambiente para a circulação vertical comum e analisada uma pontuação da distância média ponderada da área do ambiente (visão dos níveis de conectividade dentro da geometria e ligação entre ambientes) (Figura 15).

Figura 15 – Tipologias analisadas no estudo



Fonte: Dogan; Saratsis; Reinhart (2015b).

Como resultados, em relação à economia, computaram-se valores mais elevados para as geometrias a, b e f (área de perímetro/área útil do pavimento). A geometria b tem vantagens em relação às circulações das outras tipologias que não são contínuas, tal como g. De acordo com os parâmetros estabelecidos neste estudo, as geometrias a e b são as que apresentam os resultados mais balanceados (DOGAN; SARATSI; REINHART, 2015b).

Haverá mais de uma solução de diversas geometrias de edificação e projeto de laiaute interno possíveis de criação, que podem ser projetadas atentando-se para melhorar e favorecer a disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes. Entre os parâmetros da arquitetura que influenciam na disponibilidade de luz natural nos ambientes internos destacam-se, além da geometria das edificações, as características das aberturas e as características dos ambientes internos.

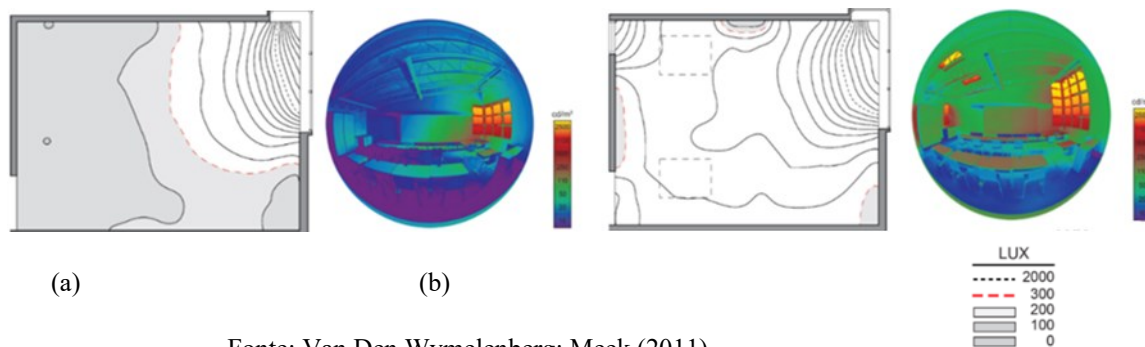
2.3.2 Dimensionamento das aberturas

Gagne e Andersen (2011) analisam dez variáveis de projeto relacionadas com as aberturas, tais como: percentual de abertura na fachada – PAF, quantidade, formato, localização, dispositivos de sombreamento, características do vidro, entre outros, e apresentam diretrizes de projetos, de acordo com as simulações de desempenho da luz

natural realizadas da combinação desses parâmetros. Os parâmetros que mais influenciaram nos resultados são área de janela, dispositivo de sombreamento, tipo e transmitância do vidro.

Van Den Wymelenberg e Meek (2011), com base em consultas de vários edifícios e com o objetivo de incorporar a luz natural de forma significativa nos projetos, fornecem um guia que apresenta exemplos principais de espaços bem iluminados de tipos comuns de construções comerciais. A análise de variáveis de projeto foi realizada para demonstrar resultados otimizados e para ilustrar o impacto de múltiplas decisões no desempenho da iluminação natural. Na análise para verificar o desempenho, utilizando-se de mapas de iluminância horizontal (a) e mapas de luminância (b) (Figura 16), foi traçada uma linha vermelha (marcação referente a 300lux) para destacar o desempenho no limite

Figura 16 – Diferentes aberturas de mapa de iluminância horizontal e mapa de luminância



Fonte: Van Den Wymelenberg; Meek (2011).

As áreas acima do limite são indicadas em branco, enquanto as áreas abaixo são indicadas em tons de cinza. Isso permite identificar rapidamente a área e a porcentagem aproximada do plano de trabalho que atende aos critérios de iluminância em um determinado cenário de projeto. A intenção do guia é fornecer um recurso que os projetistas possam consultar para gerar ideias para a concepção inicial do projeto, apresentando o desempenho para configurações de janelas, orientação, refletâncias internas, transmissão de vidro e outras variáveis. Ao atravessar o envelope da edificação, a luz natural que incide no interior dos ambientes sofre variação na sua quantidade, diminuindo rapidamente o nível de intensidade à medida que se afasta da abertura. Assim, a limitação na profundidade dos compartimentos é necessária como forma de garantir a disponibilidade de iluminação natural no interior dos ambientes. Cp

2.3.3 Dimensionamento dos ambientes internos

O leiaute interno é principalmente conduzido pelos acessos aos ambientes. (DOGAN; SARATSI; REINHART, 2015a). Steadman *et al.* (2000) categorizam os espaços construídos separados de acordo com as suas funções genéricas e atividades específicas: (a) espaços celulares – ambientes de tamanhos similares, repetidos em série, tais como dormitórios, quartos de hotel e hospitais; (b) espaços *Halls* – ocupados por uma única atividade, como cinemas, teatros, igrejas; (c) planta aberta – espaços desobstruídos por paredes com atividades separadas, como shoppings, escritórios –, dividindo-os em áreas iluminadas e não iluminadas naturalmente.

Reinhart (2005) analisa a relação da altura da abertura com a profundidade do ambiente interno e identifica uma variação proporcional entre 1,5 e 2,5, considerando diferentes regulamentos. Como validação, através de simulações computacionais utilizando a Autonomia da Luz Natural – DA, com aberturas padrão e persianas, obteve resultados entre 1 e 2. Novas simulações foram realizadas em casos que não exigiram uso de dispositivos de sombreamento e a proporção aumenta até 2,5.

DeKay e Brown (2001) limitam a profundidade do ambiente interno, livre de uniformidade e livre de ofuscamento, que também deve ter a relação 2,5, estratégia chamada de *Daylit Room Depth*.

Brown e Steadman (1991) analisaram a profundidade de leiaute de casas e apartamentos em mais de 300 modelos em Cambridge, Reino Unido, e como respostas obtiveram valores médios de 7,4 metros de profundidade para casas isoladas, 7,7 metros para geminadas e 7 metros para apartamentos.

Albuquerque e Amorim (2012) investigam a profundidade dos ambientes e a presença de dispositivos de proteção solar. São analisados 40 ambientes reais localizados em Florianópolis e Brasília, ficando constatado que, para ambientes cuja área de abertura equivale a 1/6 da área do piso, sem proteção solar e com reflexões internas de teto com 84%, parede com 58% e piso com 30%, a profundidade limite deve ser 2,57 vezes a altura da janela. Já nos ambientes com proteção solar, a profundidade iluminada naturalmente reduz em 17,9% e seu limite chega a 2,11 vezes a altura da janela.

Outra característica interna que influencia a iluminação natural nos ambientes internos é a refletância dos materiais. As faixas de refletâncias úteis para as superfícies internas mais importante são: teto (0,6-0,9), parede (0,3-0,8), planos de trabalho (0,2-0,6) e piso (0,1-0,5) (ABNT, 2013).

Para uma mesma geometria de edificação, diferentes desempenhos foram computados, observando-se que os parâmetros urbanos e arquitetônicos podem diminuir a necessidade da utilização da iluminação artificial durante o dia, ao favorecer a incidência da luz natural no interior dos ambientes.

2.4 FORMA URBANA E DESEMPENHO DA LUZ NATURAL

2.4.1 Estudo da forma urbana

Tipos definidos pela posição no lote, o grau de continuidade de suas fachadas e suas relações de permeabilidade com o espaço público, representam uma grande parte das formas produzidas nas cidades (NETTO; VARGAS; SABOYA, 2012).

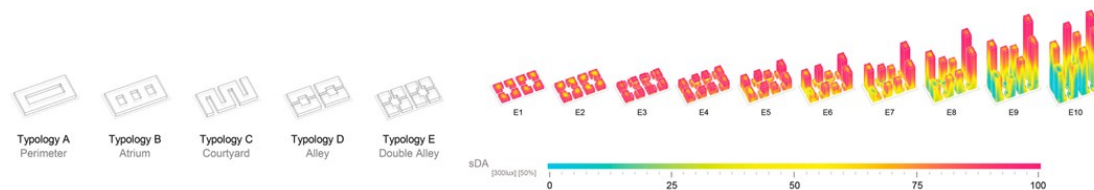
Stewart e Oke (2012) dividem a forma urbana em compactas (edificações variando de 1 a 3 pavimentos, com pavimentos médios de 3 a 9 e edificações com 10 ou mais pavimentos) e as configurações abertas (que apresentam características de maiores arranjos entre edificações, cercadas de áreas abertas).

Saboya, Netto e Vargas (2013) examinam as características edilícias em Florianópolis, sendo as edificações classificadas em três tipos básicos: o primeiro, compacto/contínuo, possuiria poucos afastamentos frontais e laterais, maior densidade de aberturas (portas e janelas) e interfaces mais abertas com o passeio; o segundo, isolado/torre, apresentaria as características inversas; o terceiro, híbrido, teria bases compactas e contínuas e torres isoladas.

Estudo de Saratsis, Dogan e Reinhart (2017) apresenta simulações para a formação de regras de zoneamento, que avalia o desempenho da luz natural de tipologias de blocos

urbanos em Nova York (*a-perimeter, b-atrium, c-courtyard, d-alley e e-double alley*) (Figura 17).

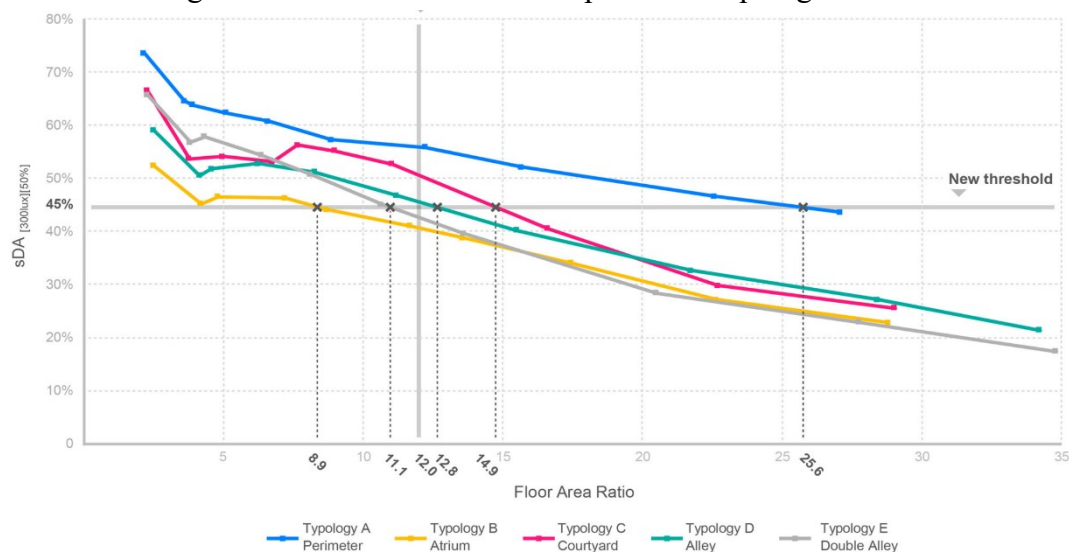
Figura 17 – Tipologias de NYC – Simulação da tipologia e variações (*double alley*)



Fonte: Saratsis; Dogan; Reinhart (2017).

O cálculo de $sDA_{(300lux,50\%)}$ da variação das cinco tipologias analisadas somente foi atendido, de acordo com o critério do LEED v.4 de 55% para a tipologia A (*perimeter*), conforme mostra a Figura 18. Previsivelmente, revela um declínio constante à luz do dia nos pavimentos inferiores, à medida que a densidade aumenta.

Figura 18 – Resultados de desempenho das tipologias analisadas



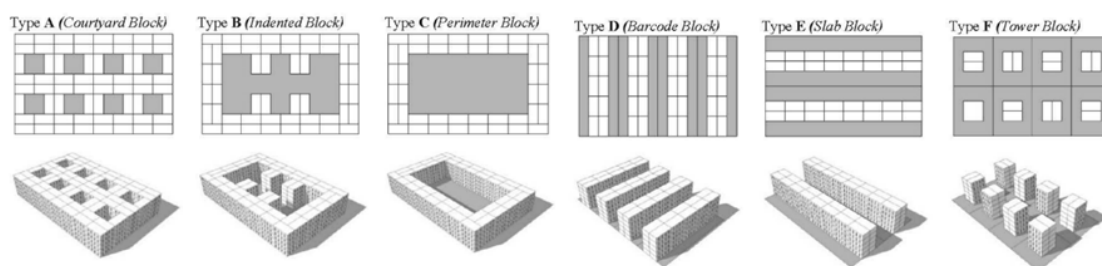
Fonte: Saratsis; Dogan; Reinhart (2017).

Uma provável justificativa para a ocorrência desses resultados é que o LEED considera somente áreas regularmente ocupadas e, no estudo, os pavimentos foram analisados como um todo (assumindo que cerca de 20% consiste em espaços transitórios). No estudo, os autores marcam como novo valor de referência 45%. As demais geometrias computaram $sDA_{(300lux,50\%)}$ entre 45% e 50% (SARATSI; DOGAN; REINHART, 2017),

superior aos novos valores revisados em 2019 (40%) (USGBC, 2020). O desempenho de outros arranjos de implantação também foi investigado e, em alguns casos, os projetos superaram significativamente estratégias existentes, apoiando as densidades urbanas que são o dobro do zoneamento atual máximo.

Estudo de Sattrup e Strømman-Andersen (2013) analisa o potencial de energia solar passiva e da luz natural e seu impacto no desempenho energético total de tipologias urbanas típicas encontradas no norte da Europa, considerando diferentes indicadores. A Figura 19 mostra os tipos de construção analisados. “*Plot ratio*” (área construída/ *plot area*) é um indicador da densidade do tipo de construção urbana, tendo a tipologia A computado valor igual a 400% e a tipologia F, 100%.

Figura 19 – Seis padrões de tipo de construção urbana tradicional



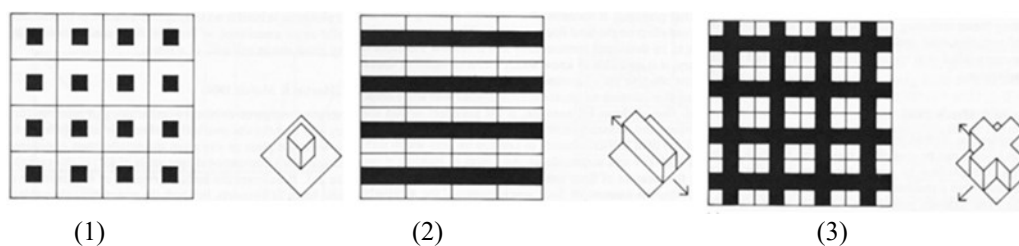
Fonte: Sattrup; Strømman-Andersen (2013).

A proporção de superfície da fachada para a área de piso (quantidade de envelope de construção exposta por unidade de piso (compacidade), teve como resultado o tipo A com o menor resultado (94%) e o tipo F com o maior (160%). Em relação à densidade urbana e ao ganho solar passivo, o tipo A tem o menor ganho solar passivo. O ganho solar não cai proporcionalmente com a densidade. O tipo C tem uma alta densidade de construção (275%), mas também um alto nível de ganho solar passivo. Isso mostra que a exposição à luz solar não está linearmente conectada com densidade urbana, mas depende em alto grau do desenho da tipologia individual. O tipo A aproximadamente 50% tem DA (Autonomia da Luz Natural – DA) inferior a 20% (um ambiente sem obstrução tem DA=70%), enquanto o tipo F tem o desempenho ideal. Nenhum ambiente computou DA menor que 20%, e mais de 50% de todos os ambientes têm DA maior que 60%. O Tipo C difere por ter simultaneamente uma distribuição uniforme da luz natural, com alta densidade urbana. O consumo de energia é mais afetado principalmente pela densidade e

compacidade, enquanto DA e conforto visual dependem mais do desenho geométrico da tipologia e sua orientação. As simulações mostram que os edifícios são afetados por aumento na densidade urbana e escolhas das formas urbanas, podendo afetar até 16% no desempenho energético total e até 48% da autonomia da luz natural, em densidades urbanas semelhantes. (SATTRUP; STRØMANN-ANDERSEN, 2013)

A Figura 20 mostra três diferentes tipologias urbanas analisadas por Martin e March (1972): (1) torres isoladas (“pavilions” – pavilhão ou bloco), (2) edificações em fita (“streets” – rua ou banda) e (3) ocupação perimetral (“court” – pátio ou xadrez). O último resulta, de fato, do cruzamento de bandas.

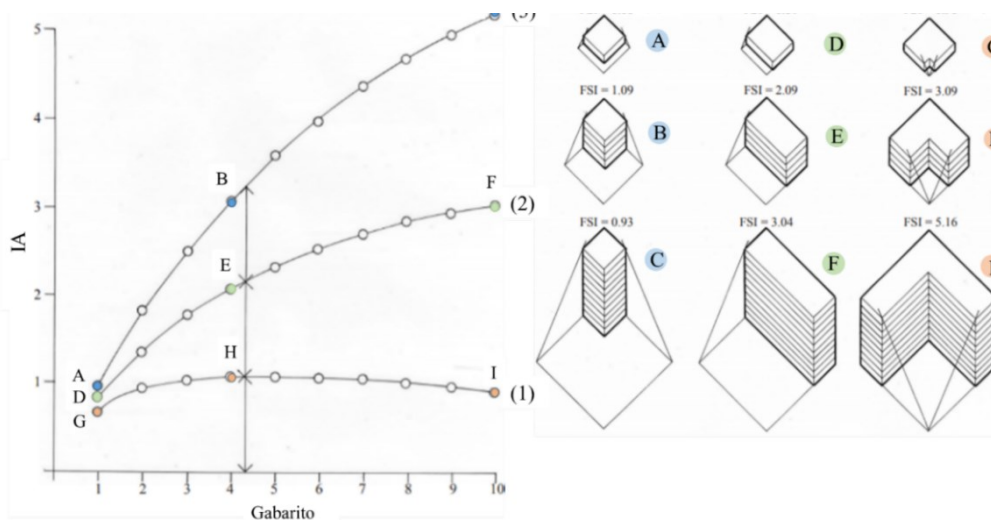
Figura 20 – Diferentes formas urbanas: “pavilions”, streets” e “courts”



Fonte: Martin; March (1972).

A relação do índice de aproveitamento (FSI) e gabaritos das três diferentes tipologias de quadras apresentadas acima está na Figura 21.

Figura 21 – Relação entre IA e Gabarito para três diferentes tipologias de quadras



Fonte: Martin; March (1972).

O índice aumenta com o aumento do gabarito e se aproxima de um limite, onde começa a decrescer. Acima de um certo número de andares, a densidade não pode ser aumentada em razão do gabarito. A relação dos blocos isolados, edificações em fita e ocupação perimetral encontrada foi de 1:2:3. Quando o gabarito é o mesmo, a quadra de ocupação perimetral possui maior área de piso (75%) do que as edificações em fitas (50%), as quais, por sua vez, apresentam maior área de piso que as torres isoladas (25%).

Analizados dois fatores – utilização (áreas ocupadas x áreas livres) e potencial construtivo (área total da construção x área do terreno) – a tipologia pátio condiciona a mesma quantidade de área de piso, na mesma superfície de terreno, com a mesma profundidade e em, aproximadamente, apenas 1/3 da altura requerida por blocos ou pavilhões. Isso se dá porque, depois de certa altura, as torres isoladas deixam de usar a terra como eficiência crescente. Já no caso dos pátios, a mesma terra livre, agregada de forma contínua, oferece maiores possibilidades de uso com menor dispêndio de energia e material.

Assim, aspectos arquitetônicos, como o grau de porosidade das fachadas (densidade de aberturas), o fechamento do lote e a densidade construída, são importantes para definir as formas urbanas. As formas urbanas foram analisadas a seguir e divididas em: (a) espaços abertos; (b) espaços fechados – quadras de ocupação perimetral; (c) blocos isolados, e (d) espaços híbridos.

2.4.1.1 *Espaços Abertos*

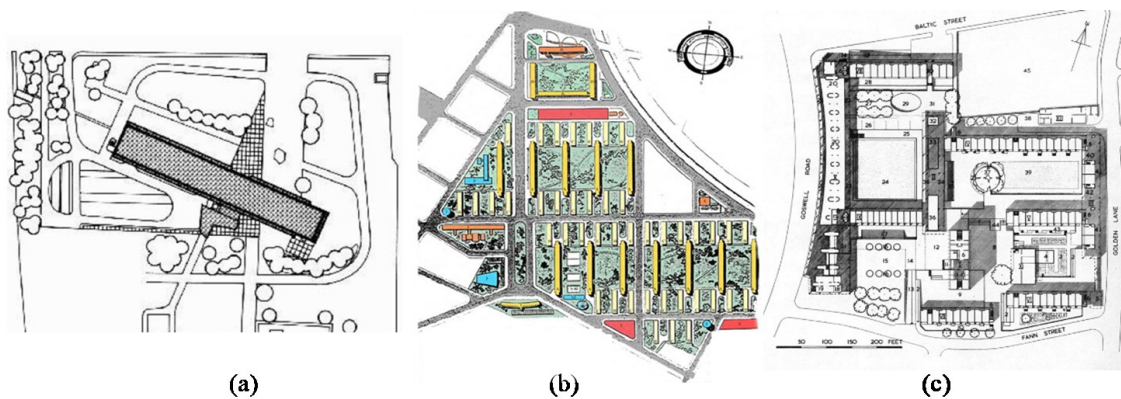
No urbanismo moderno, há uma inversão de papéis: a unidade de habitação, que antes era consequência da forma do edifício e da forma do lote, passa a ser o elemento base, o ponto de partida da arquitetura. Tem-se como diretrizes flexibilizar o uso do terreno, torná-lo permeável e disponibilizar áreas privadas ao uso público e, assim, eliminar as limitações impostas pelo desenho atual dos lotes e pelas edificações individualizadas, com terrenos fechados e voltados a usos de serviço de cada edifício.

O arquiteto francês Christian de Portzamparc defende a quadra aberta como uma solução contemporânea para os grandes aglomerados urbanos. A quadra aberta permite reinventar a rua: legível e ao mesmo tempo realçada por aberturas visuais e pela luz do

sol. Os objetos continuam sempre autônomos, mas ligados entre eles por regras que impõem vazios e alinhamentos parciais. Formas individuais e formas coletivas coexistem. (PORTZAMPARC, 1997).

A Figura 22 ilustra a unidade de habitação de Le Corbusier, a “*Unité d’Habitation*” (a), onde o lote deixa de existir, uma vez que o edifício não ocupa o solo definido pela sua projeção vertical. Assenta em pilares que saem de um terreno público, assim como o espaço circundante, sendo o edifício não mais vinculado ao sistema viário, mas sim à melhor orientação solar (HERTZBERGER, 1999).

Figura 22 – *Unité d’Habitation* (a); Várzea do Carmo (b); Golden Lane (c)



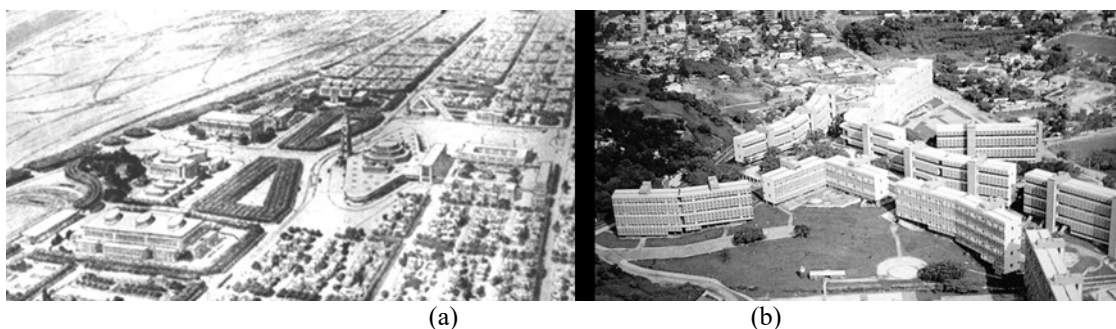
Fonte: French (2009).

O conjunto habitacional da Várzea do Carmo (b), desenvolvido em 1942, em São Paulo, e coordenado pelo arquiteto e urbanista Attilio Corrêa Lima, teve os blocos implantados em forma laminar, introduzindo um novo modo de morar, e trazia para a sociedade brasileira outros valores, distantes da ideia da casa isolada no lote (BONDUKI, 1998).

O conjunto habitacional Golden Lane (c) de Chamberlin, Powell e Bom apresenta blocos residenciais de alturas diferentes, com um volume vertical predominante e os demais horizontais, dispostos em torno de uma série de pátios dentro de um traçado regulador definido pelo próprio perímetro do terreno, computando um total de 60% de área livre. Schiano-Phan *et al.* (2018) analisam o desempenho da luz natural do conjunto, e a largura do pátio, considerada no mínimo duas vezes a altura do edifício, foi uma estratégia de projeto que garantiu a incidência da luz natural no interior dos apartamentos, inclusive nos pavimentos inferiores.

A cidade industrial de Garnier (Figura 23a), em 1917, propõe a setorização da cidade, separando-a em três elementos principais (fábrica, cidade e hospital), com a intenção de permitir a sua expansão, garantindo um controle sobre a organização do espaço. Não era mais possível pensar em construções individuais. Propõe diferentes tipos de edifícios padronizados: casas com átrio, pavilhões escolares com um só nível, fábricas, edifícios em forma de losango. Garnier divide o terreno nos bairros residenciais em lotes de 15x15 metros, e quadras de 150x30 metros, observando a orientação leste-oeste para o lado maior, e norte-sul para o menor, estabelecendo que o uso de 50% dos lotes seja destinado para os jardins públicos (CHOAY, 1979).

Figura 23 – Cidade Industrial de Garnier (a); Conjunto Mirante da Taquara (b)



Fonte: Frampton (1997) (a) / Projeto Design (2005) (b)

Formado por edifícios isolados, o conjunto residencial Mirante da Taquara (Figura 23b), situado em Jacarepaguá – RJ, possui 11 blocos (12mx90m), de gabarito variando entre 7 e 13, acompanhando a topografia original do terreno. O espaço aberto define os volumes construídos e vice-versa.

A forma da massa edificada, os arranjos das edificações, a implantação, a inserção urbana são elementos essenciais na caracterização e qualificação do espaço urbano. Esses fatores em conjunto influenciam a dinâmica urbana do espaço.

2.4.1.2 *Blocos isolados*

A tipologia de blocos isolados representa a dissolução completa da noção de quarteirão. Um modelo de cidade em que os edifícios não mais se organizam segundo a lógica do sistema viário, mas afastam-se de acordo com as melhores condições de vista e sol. Exigem uma combinação de interesses públicos e privados num acordo de abertura de espaços à fruição pública ou uma ação estatal de grande monta financeira (NOTO, 2017).

O conjunto Miguel Aleman (Figura 24), com 1.080 apartamentos distribuídos em nove edifícios de 13 andares e seis de 3, criado pelo arquiteto Mario Pani, propôs o modelo corbusiano de blocos altos em zigzag. A proposta iria ocupar apenas 20% do terreno, aumentando a densidade para 1000 habitantes por hectare (e liberando o espaço comum para áreas verdes e serviços).

Figura 24 – Conjunto Miguel Aleman; Barra da Tijuca-RJ



Fonte: ARCHDAILY (2020).

Esse conceito pautou inúmeros exercícios críticos da cidade moderna, como alternativa de ocupação de alta densidade populacional e baixa densidade construtiva. A operação de concentrar as diversas funções da cidade em blocos isolados reafirma a intenção de reduzir o contato dos edifícios com o solo, liberando-o como parque público. Frank Lloyd Wright explora a liberdade de implantação de edifícios isolados num terreno verde, tirando proveito das múltiplas faces de vista e iluminação que a torre permite (NOTO, 2018).

Em 1969, o arquiteto Lucio Costa foi convidado para realizar um projeto para a Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, dentro dos princípios do urbanismo moderno, sinalizando que os novos espaços criados teriam como características principais o ordenamento e a

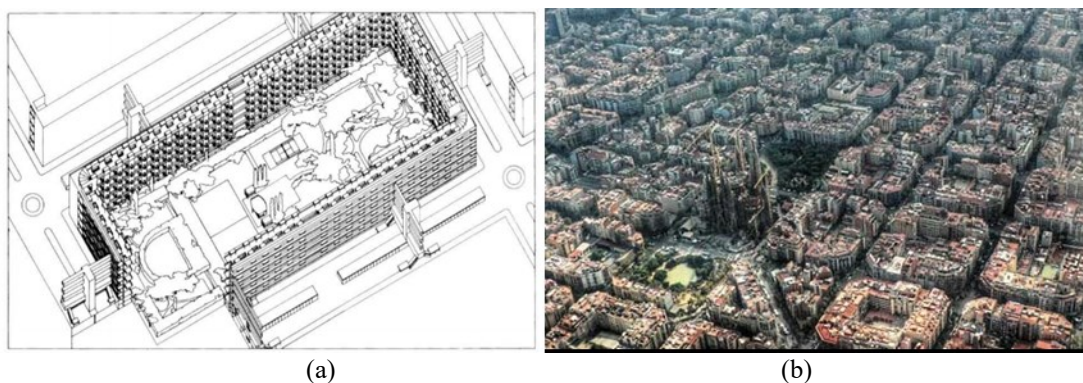
racionalidade: ausência de lotes ou quadras tradicionais e a verticalização utilizada como estratégia para a concentração de áreas edificadas com a criação de áreas vazias.

2.4.1.3 *Quadra de ocupação perimetral*

As quadras de ocupação perimetral são formadas por edifícios contínuos, faceados na testeira dos lotes e com profundidades ajustadas de modo a criar pátios internos (NOTO, 2017). Relacionam-se mais diretamente aos espaços públicos e permitem uma relação intensa entre atividades e pedestres (NETTO; VARGAS; SABOYA, 2012).

A Ville Contemporaine (Figura 25 a), de Le Corbusier e Jeanneret, consistia em dois protótipos diferentes de blocos: o bloco perimetral, ligado à ideia de uma cidade “murada”, e o recuo, ou formação em redent, que pressupunha uma “cidade aberta” sem muros (FRAMPTON, 1997).

Figura 25 – Quadra fechada: *Ville Contemporaine* e Quadra de expansão para Barcelona



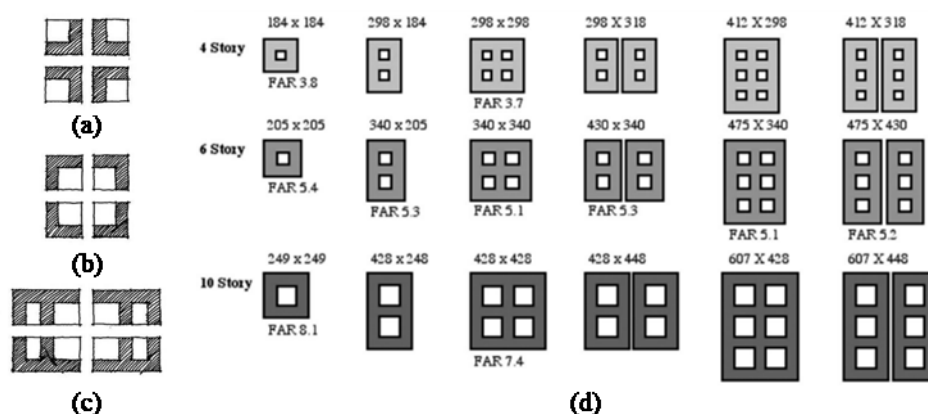
Fonte: Frampton (1997) (a) / Archdaily (2020) (b)

As grelhas ortogonais de Barcelona (Figura 25 b), com quadras de 113m x 113m e vias de 20m de largura, em que cada conjunto de nove quadras e vias correspondentes se inscreve dentro de um quadrado de 400 m de lado. O corte diagonal nas arestas da quadra transforma o simples cruzamento de vias em lugar, gera também dessa forma maior amplitude visual dos edifícios de esquina. O Plano previa quadra com ocupação perimetral em dois ou no máximo três lados. Os edifícios não ultrapassariam mais do que dois terços da superfície da quadra. Os espaços internos resultantes se abririam para a

cidade, oferecendo equipamentos públicos e generosas áreas arborizadas (HERTZBERGER, 1999).

A Figura 26 mostra os formatos “L”, com diferentes configurações, do edifício marginal (a) e em aresta aberta (b), e o formato em “F” (c).

Figura 26 – Módulos de 4, 6 e 10 pavimentos da quadra de edifícios tipo ático



Fonte: DeKay (2010).

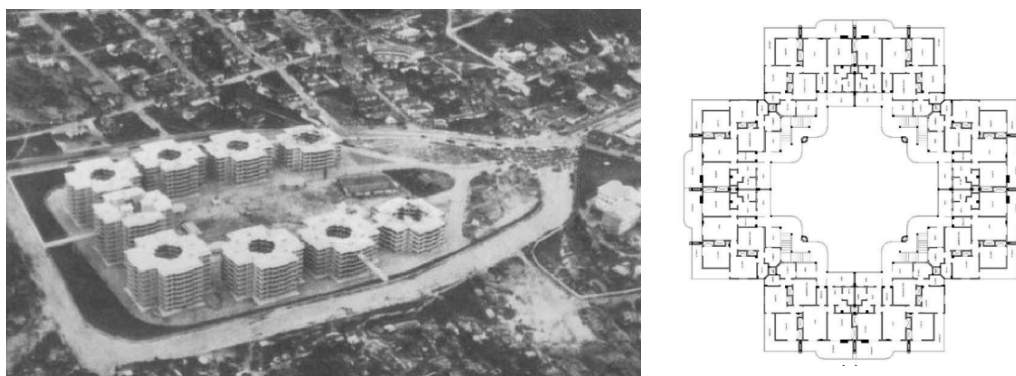
O formato “O” (d), com o tipo de átrio moderno, permite a incidência da luz natural, mesmo com alta densidade, já que a dimensão da quadra restringe o tamanho do átrio. Combinações são propostas de módulos de 4, 6 e 10 andares para latitudes entre 40° e 48°, que apoiam os átrios como estratégia de projeto e, como resultado, apresentam sugestões de dimensões ideais de quadras tipos para edifícios naturalmente iluminados. Para um tipo particular de átrio, o aumento da quadra reduz o índice de aproveitamento, o que acarretará na diminuição da área considerada iluminada naturalmente (DEKAY, 2010).

Em edifícios de múltiplos de átrios, a área ocupada pelo átrio tem a mesma dimensão que a espessura do volume entre um átrio e uma parede externa. Isto significa que o módulo é a soma do comprimento (L) do átrio e da espessura do edifício (módulo=L+T). As quadras podem ser combinadas com as variações na largura da rua e posteriormente usando as regras de acesso à luz natural, modificando para produzir o envelope de construção máxima (DEKAY, 2010).

DeKay (2010) apresenta dimensões de quadras de ocupação perimetral para edifícios átrios naturalmente iluminados, através das simulações do DF. Como resultado, sugere que 80% a 100% de área iluminada naturalmente (*rentable area daylit*) pode ser alcançado, utilizando-se a espessura do volume entre $6H$ e $7H$. Dependendo da altura das edificações, dois elementos são importantes para determinar a edificação tipo átrio: (a) o tamanho e proporção (H/L), e (b) a espessura do volume (entre átrio – pátio e a parede exterior). A profundidade dos ambientes internos deve se limitar a $2,5H$, e a espessura do volume em $5H(2x2,5H)$ (DeKay, 2010).

No conjunto Residencial IAPI Lagoinha (Figura 27), inaugurado em 1948, pelo Instituto de Aposentadorias e Pensões – IAPs, em Belo Horizonte, com predomínio dos cheios sobre os vazios, os blocos repetem uma figura simétrica biaxial, um diagrama em forma de “U”, com as edificações cruciformes e com alturas que variam de cinco a oito pavimentos, totalmente fechados, formando um pátio interno de uso coletivo iluminado naturalmente.

Figura 27 – Conjunto Residencial IAPI Lagoinha (BH)



Fonte: Bonduki (1998); (CASTRIOTA; ARAÚJO, 2009)

Esse conjunto residencial foi considerado uma inovação tanto no plano urbanístico (articulação entre as edificações e os espaços comuns, sua inserção diferenciada no contexto urbano), quanto no plano arquitetônico (com suas formas verticais, linhas modernas e no próprio parcelamento do solo, que não se vinculava mais às unidades habitacionais únicas). O lote convencional deixará de existir e a área passou a ser configurada pela grande área central que alterava a definição do espaço público e privado, buscando altura limitada dos blocos, segregação do conjunto no traçado urbano, a

existência de lojas comerciais em seu interior e sua área central destinada a equipamentos coletivos (CASTRIOTA; ARAÚJO, 2009).

2.4.1.4 *Tipologia Híbrida*

Espaço híbrido é uma forma tipológica que mistura características de duas outras formas arquitetônicas. Um bloco vertical destinado a usos habitacionais, serviços e outros usos, sobreposto a um edifício base, ou seja, mais baixo e largo, ocupando área mais externas no pavimento térreo.

Projetado por Mario Pani, o conjunto Nonoalco-Tlatelolco (Figura 28), no centro da Cidade do México, era marcado pelas múltiplas fileiras de blocos residenciais que se destacavam na malha urbana densa e rasteira de seu entorno.

Figura 28 – Quadras híbridas – Conjunto habitacional Nonoalco-Tlatelolco



Fonte: ARCHDAILY (2020).

As fachadas guiadas por uma malha regular, geométrica, marcavam ainda mais a repetição, criada por tamanhos variados de moradias e tipologias diferentes de edifícios. Na quadra híbrida, a relação entre os distintos edifícios e a rua se dá por alinhamentos parciais, o que possibilita aberturas visuais e o acesso mais generoso da luz do sol. Os espaços internos gerados pelas relações entre as distintas tipologias podem variar do restritamente privado ao generosamente público.

A promoção de espaços livres e abertos no pavimento térreo permite a criação de espaços semipúblicos que podem atuar como extensões do espaço público, incentivando novos percursos e colaborando para a vitalidade e a fluidez do tecido urbano. Por outro

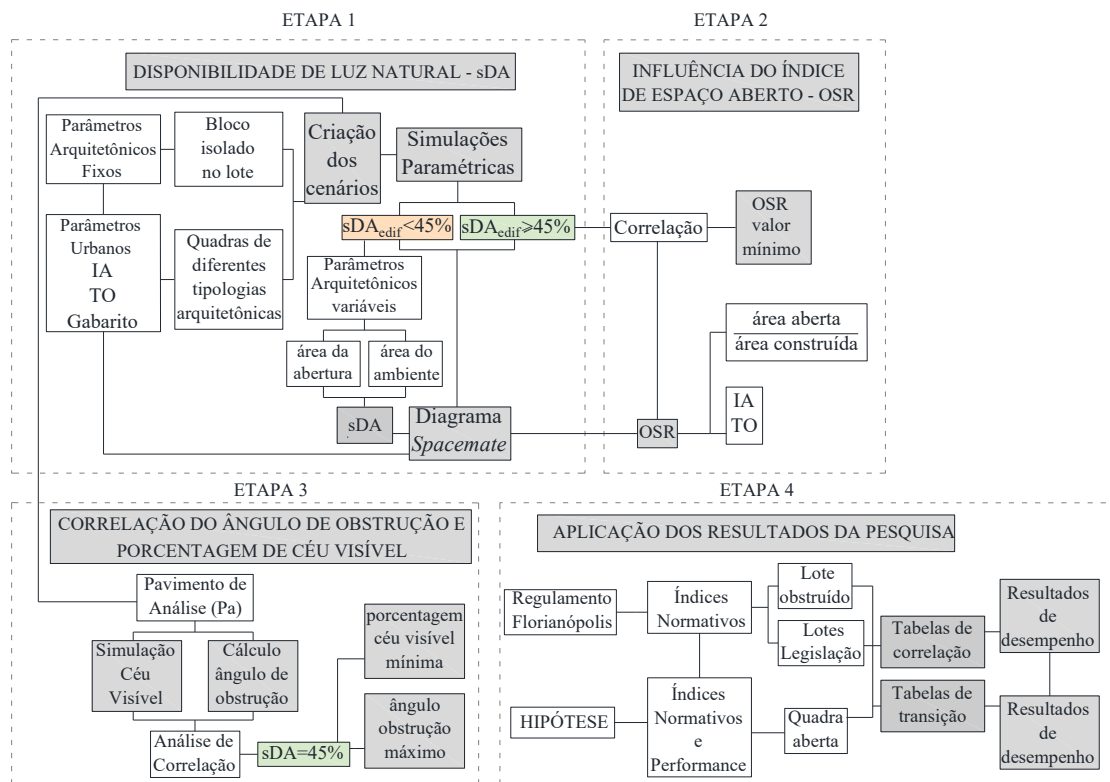
lado, essa tipologia “caixa de bolo”, apesar de beneficiar o espaço urbano pela multifuncionalidade, apresenta uma rigidez na implantação e na conformação dos limites da quadra.

As cidades são sistemas complexos compostos por muitos agentes humanos interagindo no espaço urbano físico. Ambientes construídos são estudados como estruturas físicas produzidas por comportamento humano, o que enfatiza a forma espacial em vez de processos dinâmicos. Através da coevolução, os humanos moldam suas cidades e bairros e, por sua vez, são moldados por eles. Os padrões físicos resultantes compõem a forma urbana (BOEING, 2018).

3 MÉTODO

Esta tese investigou a influência da forma urbana na disponibilidade de luz natural no ambiente construído, considerando diferentes tipologias arquitetônicas e configurações urbanas. Para tanto, o método foi dividido em quatro etapas, conforme mostra a Figura 29.

Figura 29 – Mapa Metodológico



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A primeira etapa teve como objetivo criar cenários para a realização de simulações paramétricas, identificando diferentes formas urbanas que garantiriam a luz natural no interior dos ambientes.

A etapa 2 analisou a influência do índice de espaço aberto (*Open Space Ratio*) – OSR, na disponibilidade de luz natural no ambiente construído.

A etapa 3 teve o intuito de determinar o ângulo máximo de obstrução vertical e a porcentagem mínima de céu visível, correspondente ao menor valor estipulado de desempenho da Autonomia Espacial da Luz natural – sDA.

E, por fim, a quarta etapa da pesquisa consistiu na criação de novos cenários, de diferentes configurações urbanas e disposições das edificações na quadra, para usar os resultados da pesquisa e testar a combinação dos índices normativos tradicionais e os índices informativos.

3.1 ETAPA 1 – DESEMPENHO DA LUZ NATURAL NO INTERIOR DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

3.1.1 Definição do traçado da quadra

Para a realização das simulações da disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes, foram criados os cenários da pesquisa, definidos com um único traçado (dimensão e ocupação do lote ou quadras e sistema viário) baseado na legislação urbana e arquitetônica do município de Florianópolis (código de obras do município de Florianópolis – Lei Complementar no 60º/2000).

Dos limites de ocupação estabelecidos na Lei Complementar nº 482/2014, que institui o Plano Diretor de Urbanismo, foi escolhida a Área Mista Central – AMC 16.5, da Macro Área de Uso Urbano. De caráter adensado, é considerada uma das áreas que permite maior verticalização na cidade, o que possibilitou analisar situações nas quais as obstruções do entorno são mais impactantes na disponibilidade de luz natural dos ambientes internos (Figura 30).

Figura 30 – Demarcação da área do estudo – AMC 16.5



Fonte: *Google Earth* (2020).

A *Tabela 1* mostra os valores limites permitidos pela legislação vigente, indicando o número máximo de pavimentos (gabarito), a taxa de ocupação, o índice de

aproveitamento, a área do lote, testada mínima, relação máxima entre testada e comprimento do lote, área máxima da quadra, entre outros.

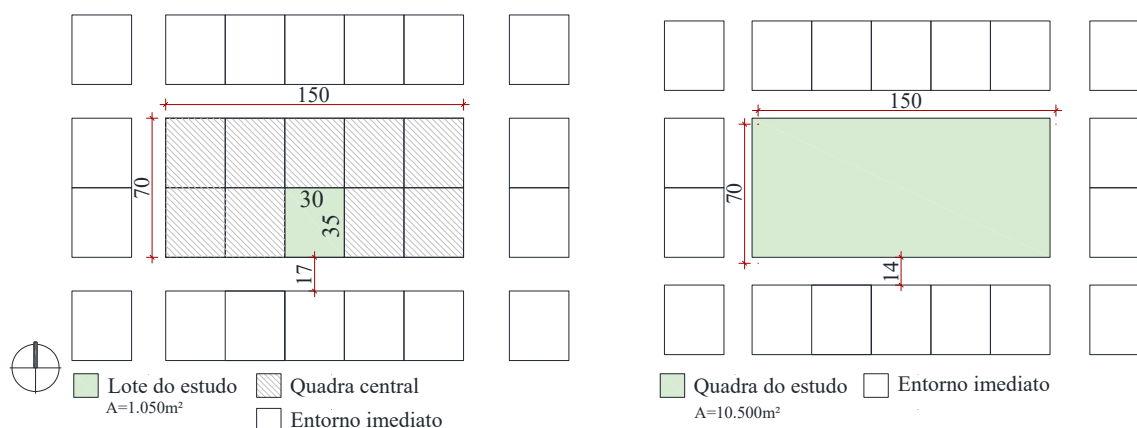
Tabela 1 – Limite de Ocupação do plano diretor de Florianópolis para a AMC 16.5

Macro Regiões	Área	Nº Máx. Pavtos		T.O. Máxima		IA						Área Máx. Quadra	Área Mín. do Lote	Testada Mín. do Lote	
		Padrão	Acrésc. TDC			Mín.	Básico	Máx. Outorga Onerosa	Acrésc. TDC	Adicional Subsolos	Máx. Total				
Macro Área de Usos Urbanos	AMC 16.5	12	4	Gabarito	1 ao 5	50%	1	1	4,8	0,56	1	6,36	2ha	1.050 m ²	30 m
					6 ao 16	40 - (nº pavto)%									

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Foram realizados dois estudos de ocupação. O primeiro estudo foi realizado na escala do lote e o segundo, na escala da quadra urbana, conforme mostra a Figura 31.

Figura 31 – Configuração da quadra



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

O lote foi definido com base nos valores mínimos de testada (30m) e área mínima de 1.050m², sendo definido o centralizado na quadra para a realização do estudo de ocupação. O entorno imediato foi replicado nove vezes, de forma idêntica à quadra central, de 150m x 70m, resultando num total de 10.500m².

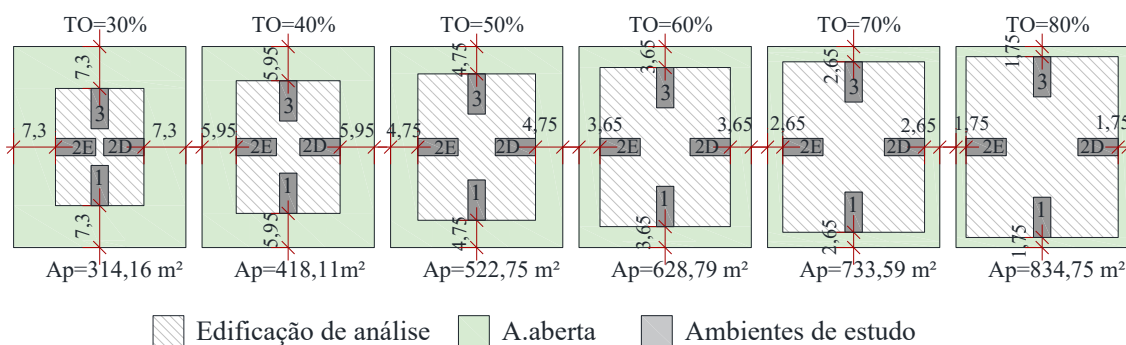
A largura do sistema viário foi determinada com 17 metros de largura, valor mínimo estipulado pelo plano diretor de Florianópolis para vias locais. Entretanto, esse valor não condiz com as dimensões de caixa de rua da cidade e, assim, optou-se por diminuir essa dimensão para 14 metros, valor considerado adequado à realidade existente.

3.1.2 Definição das tipologias arquitetônicas

3.1.2.1 Bloco isolado no lote

Para o primeiro estudo de ocupação, a tipologia escolhida foi o bloco isolado no lote. Os cenários foram criados com base nos valores de TO= 30%, 40%, 50%, 60%, 70% e 80% (Figura 32), gabaritos entre 2 e 22, resultando nos índices de aproveitamento entre 0,6 e 17,5. Este estudo originou um total de 126 cenários.

Figura 32 – Planta baixa dos cenários da tipologia de bloco isolado no lote



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

As edificações de análise foram centralizadas no lote, computando afastamentos (frente, laterais e fundos) de 7,3m, 5,95m, 4,75m, 3,65m, 2,65m e 1,75m, respectivamente. Neste estudo, os afastamentos mantêm-se constantes, mesmo com o aumento do gabarito. As áreas de projeção calculadas resultaram em 314,16m², 418,11m², 522,75m², 628,79m², 733,59m² e 834,75m².

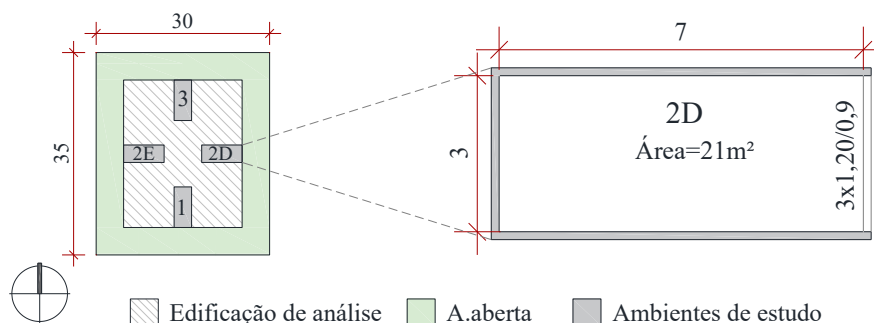
3.1.2.1.1 Ambientes do estudo com características arquitetônicas padrão

Os ambientes foram projetados para a realização de tarefas visuais similares, como escritórios, escolas, lojas e prédios públicos, sendo considerados como edifícios de áreas de trabalho regularmente ocupadas (IESNA, 2012).

Os ambientes do estudos foram denominados de 1, os voltados para o sistema viário (orientação sul); 2E e 2D, os voltados para as laterais (orientações oeste e leste,

respectivamente), e 3, os voltados para os fundos (orientação norte), centralizados nas fachadas, em todos os pavimentos da edificação de análise (Figura 33).

Figura 33 – Os ambientes de estudo



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Assim, mesmo que a testada da quadra tenha sido voltada apenas para o sul, todas as demais orientações principais também foram consideradas nos resultados de desempenho.

Os ambientes foram definidos com área de 21 m², com 3 metros de largura, 7 metros de profundidade e pé-direito de 3 metros. A abertura de 3,6m² corresponde à área mínima permitida pelo código de obras de Florianópolis, de 1/6 da área do piso para ambientes de permanência prolongada. A localização da abertura foi centralizada em relação à parede, com largura de 3 metros, peitoril e altura fixos de 0,90m e 1,20m, respectivamente. Não foi utilizado nenhum dispositivo de proteção solar. Essas características arquitetônicas foram denominadas na pesquisa como padrão – P.

Uma condição definida na pesquisa foi que o pavimento tipo deve possibilitar a inserção do ambiente (profundidade de 7 metros) em cada fachada, simultaneamente, sem sobreposição, resultando numa edificação de pelo menos 14 metros de largura (desconsiderando as paredes externas).

As edificações do entorno imediato, no que diz respeito às características arquitetônicas e parâmetros urbanos (TO, IA e gabarito), foram definidas como idênticas às da edificação de análise, gerando cenários uniformes, que são os considerados a condição mais restritiva à disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes, conforme visto na literatura.

3.1.2.1.2 Ambientes do estudo com diferentes características arquitetônicas

Novas simulações foram realizadas para os cenários que não obtiveram resultados de desempenho satisfatório quando utilizadas as características arquitetônicas padrão. A área de abertura e a profundidade dos ambientes foram alteradas, resultando num total de 9 novos casos (Tabela 2). Os cenários mantiveram-se com as mesmas configurações urbanas.

Tabela 2 – Características arquitetônicas dos novos casos simulados

Caso	Área do Ambiente	Área de Abertura	Altura da abertura	Peitoril	Profundidade do Ambiente	Relação
P	21m ²	3,5m ²	1,2 m	90 cm	7 m	1/6 da área do piso
A	21m ²	5,25m ²	1,75 m	35 cm	7 m	1/4 da área do piso
B	15m ²	3,5m ²	1,2 m	90 cm	5 m	Área de Abertura = P
C	15m ²	5,25m ²	1,75 m	35 cm	5 m	Prof. = P (corresponde a A. Abert.) = 30% a mais que P
D	15m ²	2,5m ²	0,85 m	1,25 m	5 m	1/6 da área do piso
E	21m ²	4,5m ²	1,5 m	60 cm	7 m	Profundidade = 30% a menos que P
F	15m ²	3,75m ²	1,2 m	90 cm	5 m	1/4 da área do piso
G	21m ²	4,2m ²	1,4 m	70 cm	7 m	1/5 da área do piso
H	15m ²	3m ²	1 m	1,1 m	5 m	1/5 da área do piso
I	15m ²	5m ²	1,65 m	45 cm	5 m	1/3 da área do piso

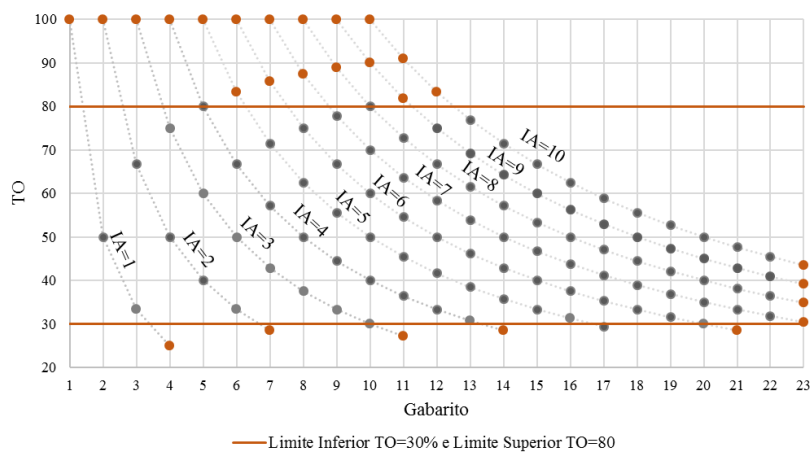
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Essas alterações tiveram o intuito de melhorar os resultados de desempenho e verificar a influência da área de abertura e da área do ambiente nos resultados da disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes.

3.1.2.2 Modelos de quadra

Na criação dos cenários das tipologias de quadras, foi realizada uma análise para verificar o valor máximo do índice de aproveitamento a ser utilizado na pesquisa, sendo definidos, inicialmente, valores inteiros até 10, conforme mostra a Figura 34.

Figura 34 – Análise para definição do valor máximo do IA



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

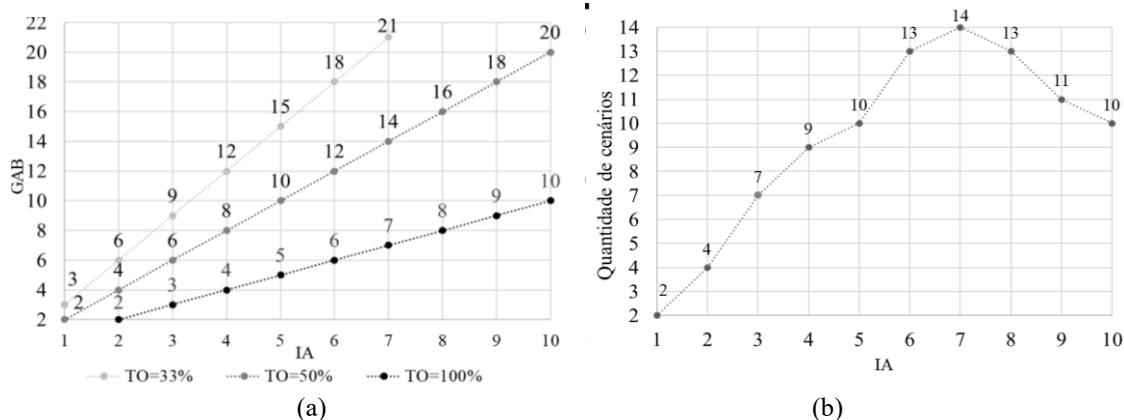
Cada ponto representa um cenário. As duas linhas horizontais demarcaram o limite inferior (30%) e superior (80%) de taxa de ocupação. Todos os cenários encontrados, acima e abaixo dessas linhas (ilustrados na cor laranja), não foram considerados no estudo.

A taxa de ocupação igual a 50% foi computada para todos os valores de índices de aproveitamento iguais a 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 correspondentes aos gabaritos 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 e 20.

No índice de aproveitamento igual a 5, as taxas de ocupação de 33%, 50% e 100%, apresentam uma proporção de 3, 2 e 1, considerando os gabaritos 15, 10 e 5, respectivamente (Figura 35 a). No gabarito 8, as taxas de 50% e 100% correspondente ao índice 4 e ao índice 8, (proporção de duas vezes) e no gabarito 9, nas taxas de 33% e 100%, os valores do índice são iguais a 3 e 9 (proporção de 3 vezes).

A Figura 35 (b) mostra a quantidade de cenários que foram criados para cada índice de aproveitamento. Com o aumento da área construída, há também um aumento na quantidade de cenários até o índice igual a 7. A partir do índice igual a 8, essa quantidade decresce. Do índice 8 ao 10, já não é possível utilizar a TO=33% (valor próximo ao mínimo estipulado no estudo).

Figura 35 – Análise preliminar para a definição do valor máximo do IA



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

O índice de aproveitamento 7 atinge o máximo do número de cenários criados e, a partir daí, começa a decrescer. Conforme mostra a Tabela 1, referente aos valores limites de ocupação do plano diretor de Florianópolis, para a área de estudo, observa-se IA máximo de 6,36. Dessa forma, optou-se por analisar o IA até 7, julgando-se um valor suficiente para atender ao objetivo da pesquisa.

Assim, para a criação dos cenários das tipologias de quadras, as edificações foram dispostas equidistantes uma das outras, a partir dos índices de aproveitamento de 1 a 7, sendo consideradas somente as configurações resultantes das taxas de ocupação entre 30% e 80% e gabarito de 2 a 22.

A metragem quadrada máxima construída para os índices de 1 a 7 foi de 10.500 m², 21.000 m², 31.500 m², 42.000 m², 52.500 m², 63.000 m² e 73.500 m², respectivamente, totalizando para cada tipologia, 59 possíveis cenários de estudo.

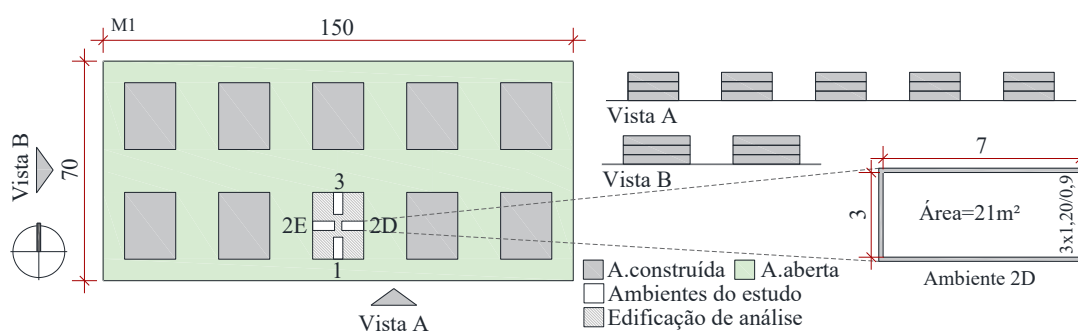
Em razão das especificidades na disposição das edificações das tipologias analisadas, não foi possível criá-las em todas as configurações urbanas estabelecidas na pesquisa. Isso ocorreu porque, ainda que se considerem os mesmos parâmetros urbanos (IA, TO e gabarito), o ordenamento das edificações gera geometrias que determinam a largura e a profundidade das fachadas, que devem ser controladas, para garantir a incidência da luz natural no interior dos ambientes. A maior flexibilidade na composição permitiu aumentar a distância entre as edificações, diversificando a relação dos espaços abertos e construídos.

No segundo estudo de ocupação, a quadra central foi ocupada considerando as quatro diferentes tipologias: blocos isolados na quadra – M1 (modelo 1); quadra de ocupação perimetral – M2 (modelo 2); quadra de edificações laminares paralelas – M3 (modelo 3), e quadra com ocupação híbrida – M4 (modelo 4).

3.1.2.2.1 Modelo 1 – Blocos isolados na quadra

A tipologia de blocos isolados na quadra (M1) foi constituída a partir de 10 edificações idênticas, equidistantes uma das outras. (Figura 36).

Figura 36 – Planta baixa e vista do cenário de gabarito 3 – M1



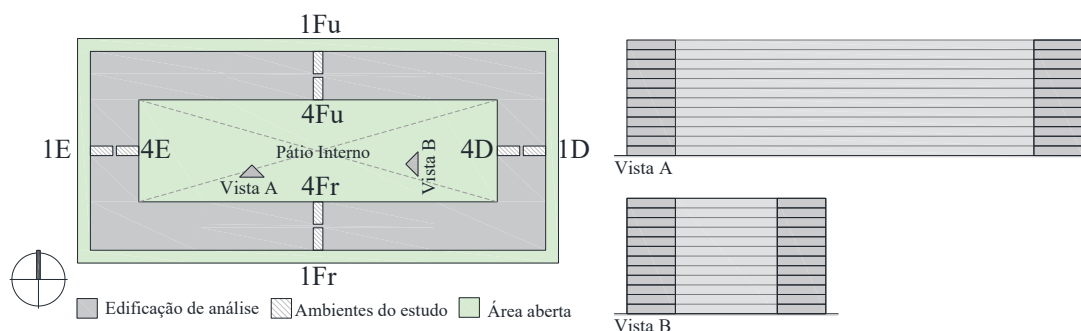
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Na edificação de análise estão os ambientes do estudo desta tipologia. Os ambientes 1 são os voltados para o sistema viário. Os ambientes mais restritivos foram considerados os ambientes 2 (2E e 2D – laterais) e ambientes 3 (fundos), que apresentam os mesmos afastamentos.

3.1.2.2.2 Modelo 2 – Ocupação perimetral

Na tipologia de ocupação perimetral M2 (Figura 37), as edificações apresentam um afastamento frontal mínimo de 4 metros e, geminadas, formam um pátio interno dentro da quadra.

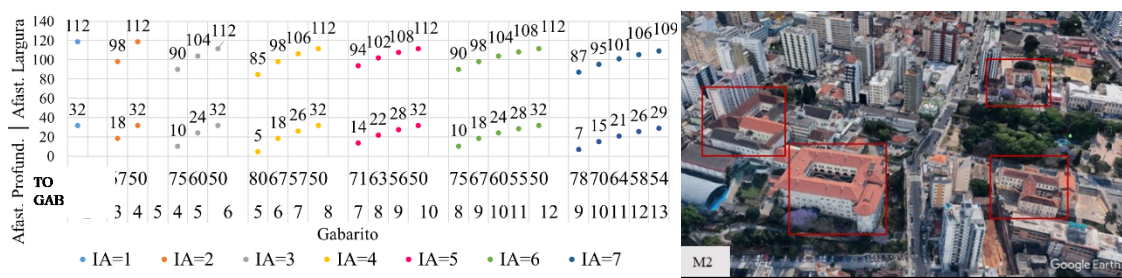
Figura 37 – Planta baixa e vista do cenário de gabarito 12 – M2



Os ambientes voltados para o vão do pátio interno foram denominados de ambientes 4 (4E+4D+4Fr+4Fu) e não se comunicam diretamente com os afastamentos obrigatórios frontais, laterais e de fundos da edificação. Apresentam as mesmas características arquitetônicas dos ambientes do primeiro estudo de bloco isolado no lote. Assim, a geometria desta tipologia, fechada em todas as laterais, cria obstrução para sua própria edificação.

A Figura 38 mostra exemplos do M2 na cidade de Florianópolis, sendo representados por edificações de gabarito baixo e não totalmente geminadas (em formatos de “U”, “C” e “L”), destinadas a espaços de saúde e serviço.

Figura 38 – Afastamentos dos cenários e exemplos do M2 na cidade de Florianópolis



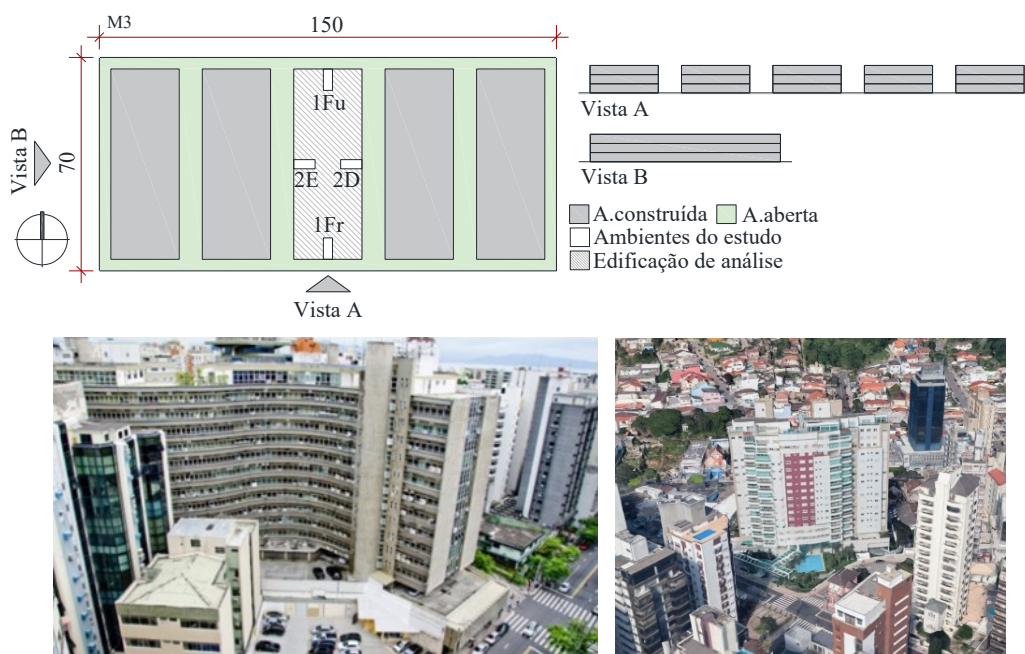
Fonte: Elaborado pela autora / Google Earth (2020).

Os afastamentos entre as fachadas e o pátio interno, considerando os ambientes 4E e 4D (vista A – afastamento largura) são significativamente mais elevados, em razão do dimensionamento retangular da quadra, quando comparados com os afastamentos entre ambientes 4Fr e 4Fu (vista B – afastamento profundidade).

3.1.2.2.1 Modelo 3 – Edificações laminares paralelas

A criação do M3 resultou na quadra com 5 edificações laminares paralelas idênticas e equidistantes (Figura 39).

Figura 39 – Exemplos do M3, Planta baixa e vista de cenário de gabarito 3



Fonte: Elaborado pela autora / *Google Earth* (2020).

A edificação de análise é a centralizada na quadra e tem as duas menores fachadas voltadas para o sistema viário 1Fr – orientação sul e 1Fu – orientação norte). Nas maiores fachadas, oeste e leste, estão os ambientes 2E e 2D, considerados os restritivos

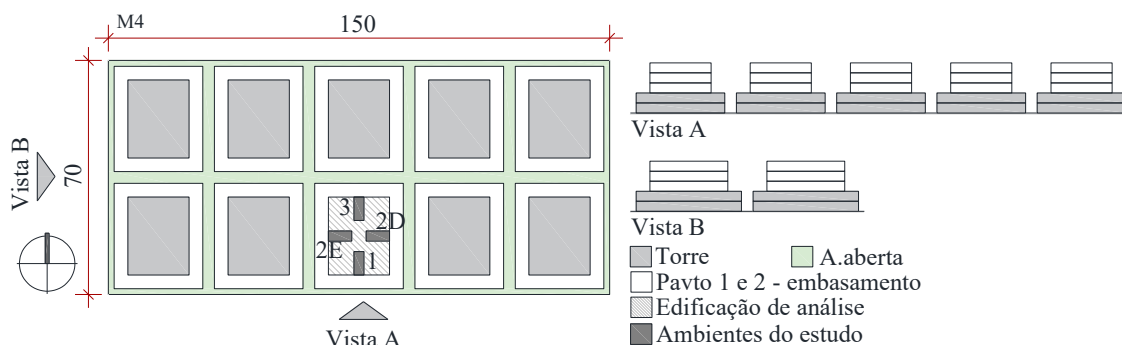
Na cidade de Florianópolis, encontram-se edifícios laminares comerciais e de serviços, como é o exemplo do Ceisa Center, conhecida edificação no centro da cidade, em formato de “S”.

3.1.2.2.2 Modelo 4 – Blocos isolados com pavimentos diferenciados

No M4, o 1º e 2º pavimentos constituem o embasamento da edificação com taxa de ocupação diferente dos demais pavimentos. Esta tipologia foi criada com base na legislação do município de Florianópolis, que permite usos diferenciados nos dois

primeiros pavimentos, para vagas de garagem e/ou comércio. Esses pavimentos, por não se tratarem de tipo, não foram incluídos nas análises da pesquisa (Figura 40).

Figura 40 – Planta Baixa e vista de cenário de gabarito 5 - M4

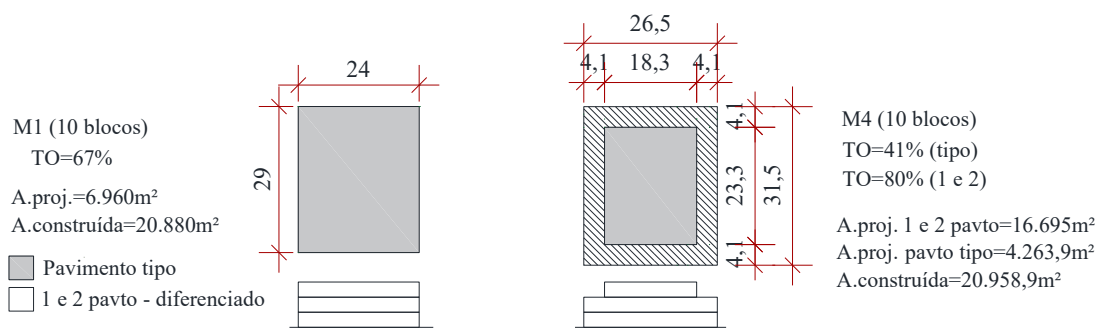


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Em razão de os pavimentos 1 e 2 possuírem $TO=80\%$, para manter a mesma área, a taxa de ocupação é menor do que no M1, M2 e M3. A Figura 41 mostra a edificação de análise do cenário de gabarito 3, $IA=2$ e $TO=67\%$ que foi escolhida, aleatoriamente, para exemplificar as diferenças existentes entre as tipologias M1 e M4.

Esses cenários possuem mesma área construída. No M4, a taxa de ocupação dos pavimentos tipo foi computada igual a 41% , enquanto no M1 foi de 67% . Essa diferença percentual significa uma diminuição da largura e do comprimento da edificação, favorecendo o M4, devido aos maiores afastamentos dos pavimentos tipo entre as edificações do entorno.

Figura 41 – Diferentes afastamentos laterais entre o M1 e o M4



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A Figura 42 mostra levantamento físico realizado através de gráfico desenvolvido com o auxílio do programa QGIS, *software* de sistema de informações geográficas, possibilitando obter informações sobre a localização das tipologias existentes na área, que foram sobrepostas com as imagens de satélite do *Google Earth*.

Figura 42 – M1 e bloco isolado no lote (cinza escuro) e M4 (cinza claro)



Fonte: *Google Earth* (2020).

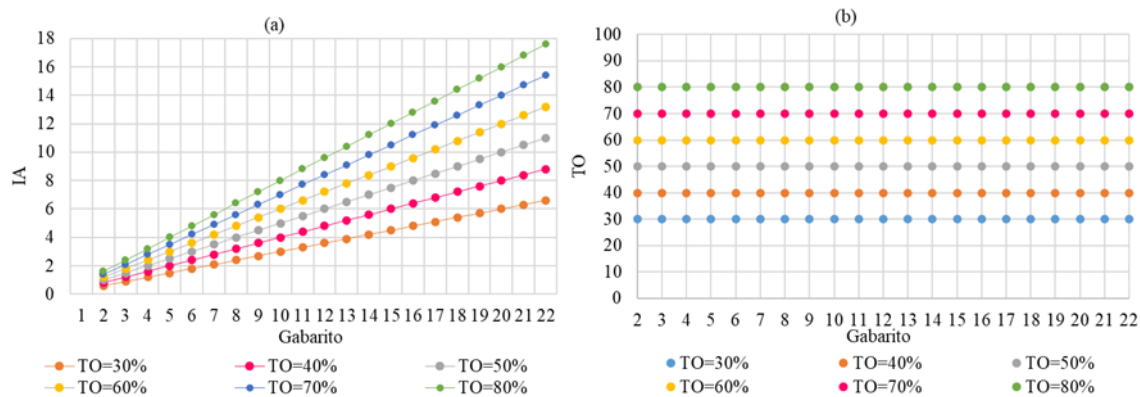
Demarcados na cor cinza escuro, estão localizados a tipologia de bloco isolado no lote e o M4, representados pelas edificações localizadas na Avenida Beira-Mar, uma das mais conhecidas da cidade. Estas tipologias são as mais comuns encontradas na área do estudo. As demais tipologias encontram-se representadas pelas cores azul, o M2, e amarelo, o M3.

3.2 ETAPA 2 – ÍNDICE DE ESPAÇO ABERTO NO DESEMPENHO DA LUZ NATURAL

3.2.1 Correlação do OSR com os valores de desempenho

O índice de espaço aberto – OSR foi correlacionado com os parâmetros urbanos (IA, TO e gabarito) e os valores de sDA. Como o OSR relaciona o índice de aproveitamento e a taxa de ocupação, o comportamento desses parâmetros foi analisado em relação aos estudos do lote e das quadras, conforme mostra a Figura 43.

Figura 43 – (a) Relação IA e gabarito e (b) TO e gabarito, do bloco isolado no lote

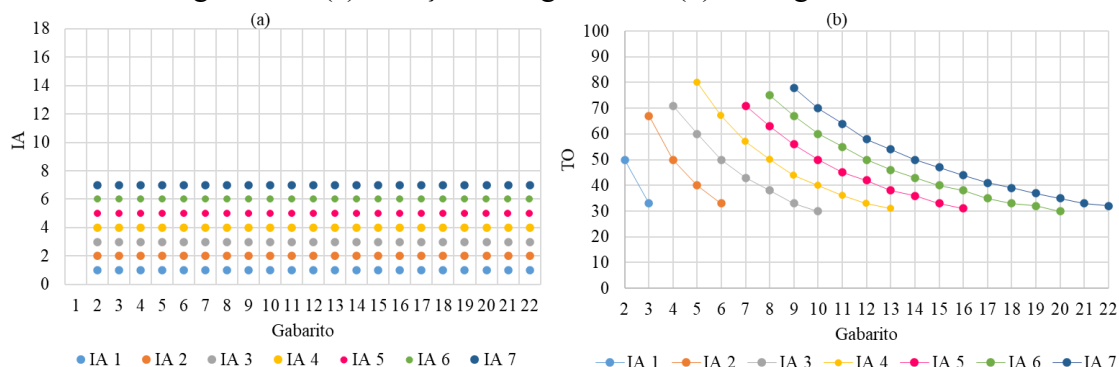


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No estudo do bloco isolado no lote (Figura 43 a e b), nos cenários de mesmo índice de aproveitamento, com o aumento do gabarito, a taxa de ocupação diminui. Quando a taxa de ocupação se mantém constante, o gabarito e o índice de aproveitamento aumentam, mas os afastamentos mantêm-se constantes. Considerando o mesmo gabarito, a taxa de ocupação e o índice de aproveitamento diminuem.

Nas tipologias de quadra (Figura 44 a e b), o comportamento dos índices de aproveitamento, das taxas de ocupação e gabaritos são iguais ao estudo anterior.

Figura 44 – (c) Relação IA e gabarito e (d) TO e gabarito, do M1



Entretanto, com a diminuição da taxa de ocupação, o gabarito e o afastamento aumentam, situação comum encontrada nos regulamentos urbanos.

3.2.2 Determinação de um valor mínimo de OSR

A combinação dos índices de aproveitamento, das taxas de ocupação e do gabarito foi correlacionada com os valores de desempenho e OSR. A realização dessa correlação teve como intuito definir um valor mínimo de OSR que estivesse associado ao desempenho satisfatório da luz natural no interior dos ambientes.

3.3 ETAPA 3 – ÂNGULO DE OBSTRUÇÃO VERTICAL E PORCENTAGEM DE CÉU VISÍVEL

3.3.1 Correlação do ângulo de obstrução com os valores de desempenho

Para investigar o impacto do entorno imediato, através da interferência dos elementos que se interpõem entre o sol e o céu (ou parte dele) e o ponto analisado, os valores de sDA foram correlacionados com o ângulo de obstrução.

Na etapa 3, os cálculos da obstrução vertical e as simulações de céu visível foram realizados com o intuito de identificar o maior ângulo correspondente ao valor mínimo de desempenho da luz natural no interior dos ambientes.

3.3.2 Correlação da porcentagem de céu visível com os valores de desempenho

As simulações de céu visível foram realizadas com o objetivo de verificar a menor porcentagem de céu visível correspondente ao valor mínimo de desempenho da luz natural no interior dos ambientes.

Os resultados obtidos dos cálculos do ângulo foram complementados com os valores computados das simulações, uma vez que correspondem à fração visível da abóbada celeste.

3.4 ETAPA 4 – COMBINAÇÃO DE ÍNDICES NORMATIVOS E INFORMATIVOS

A etapa 4 consistiu na criação de novos cenários, para testar os índices normativos tradicionais e os índices informativos (desempenho de performance), utilizando-se dos resultados da pesquisa.

Nos regulamentos tradicionais das cidades brasileiras, como o código de obras e o plano diretor, os parâmetros urbanos tais como índice de aproveitamento, taxa de ocupação, gabarito, afastamentos mínimos, entre outros, controlam o uso e a ocupação do solo.

Diante do questionamento se são suficientes para garantir o desempenho da iluminação natural no interior dos ambientes, esses parâmetros normativos foram combinados com os índices informativos (desempenho performativo), para verificar alternativas de configurações urbanas, geometria e disposições entre edificações para favorecer os resultados de desempenho.

Foram gerados três novos cenários urbanos para as análises, sendo o primeiro e o segundo com base na legislação municipal de Florianópolis, através da utilização dos índices normativos.

Na última análise, foi criada uma quadra aberta, projetada de forma aleatória, e foram combinados os índices normativos e os resultados de desempenho da pesquisa, comparando-os com as simulações realizadas das quatro tipologias de quadra.

3.4.1 Análise de desempenho com uso de índices normativos

Os cenários foram criados com base na legislação do município de Florianópolis (Tabela 3), sendo considerados os índices normativos tradicionais (valores máximos de IA, TO e gabaritos). Duas alternativas são apresentadas pelo regulamento: índices básicos (variação 1) e compra através dos instrumentos urbanos (variação 2), conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros Urbanos exigidos pela legislação de Florianópolis

Variação	T.O. máxima permitida	Gabarito
1	Pavto 2 ao 5=50% Pavto 6 ao 12 = 40 - (n° pavto)%	2 a 12
2	Pavto 3 ao 5 = 50% + 1/3 outorga onerosa + (1° e 2° TO=80%) Pavto 6 ao 16 = 40 - (n° pavto)% + 1/3 da outorga onerosa + (1° e 2° TO=80%)	3 a 16

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

De acordo com o plano diretor de Florianópolis, para as edificações de gabarito 1 a 5, a taxa de ocupação máxima é de 50%. As edificações com gabarito igual e superior a 6 terão taxa de ocupação máxima calculada pela fórmula $(40 - NP) \%$, onde NP é o número de pavimentos efetivamente utilizados (BRASIL, 2014).

De acordo com a instrução normativa nº 026/SMDU/GAF/DA/2016 (BRASIL, 2016), pode-se aumentar em 1/3 a taxa de ocupação nas edificações de 3 ou mais pavimentos (Decreto Municipal nº 13.454) e, também, fazer uso das taxas diferenciadas, apresentadas nos artigos 64 e 71 da Lei Complementar nº 482, de 2014 (pavimentos 1° e 2° com taxa de ocupação de 80% para a área do estudo).

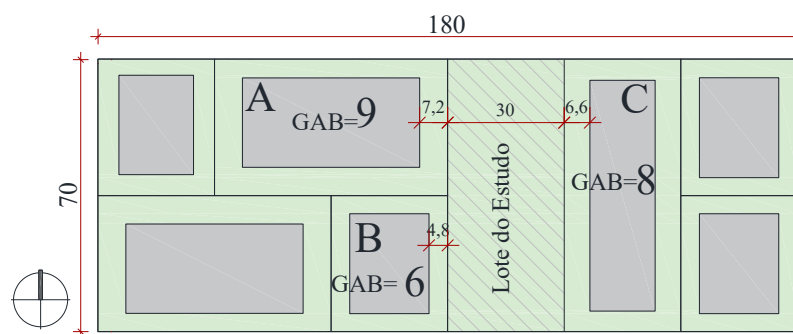
O índice de aproveitamento mínimo e o índice de aproveitamento básico são iguais a 1. O acréscimo do índice de aproveitamento não pode exceder a 6,36, respeitando

o valor de 4,8 máximo para a outorga onerosa e 0,56 para a Transferência do Direito de Construir.

O objetivo da criação dos cenários foi verificar se os valores determinados pela legislação são suficientes para assegurar desempenhos satisfatórios de luz natural no interior dos ambientes, mesmo nos pavimentos inferiores.

Assim, na primeira análise, o cenário do estudo foi definido com uma área de 2.100m² (30mx70m) inserido aleatoriamente em uma quadra com entorno imediato consolidado, conforme mostra a Figura 45. Com o intuito de aplicar os resultados obtidos na tese, foram determinados valores máximos dos parâmetros, de índice de aproveitamento igual a 4,7 e taxa de ocupação de 45%, o que permite a implantação de uma edificação de no máximo 9.870m², de área de projeção igual a 945m² e gabarito 9.

Figura 45 – Planta Baixa do estudo do lote com entorno obstruído



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Duas implantações de tipologia de bloco isolado no lote foram realizadas e os resultados de desempenho comparados, resultando em configurações urbanas que representam a realidade da cidade.

Na segunda análise, um total de 21 cenários foram criados na área mista central – AMC 16.5 (regulamento do município de Florianópolis). As edificações de análise ocuparam toda a área de projeção permitida, ficando limitadas nos afastamentos mínimos laterais exigidos. Foi possível, assim, utilizar todo o potencial construtivo, resultando em cenários de gabarito 2 a 12, conforme mostra a Figura 46.

Figura 46 – Cenários centralizados no lote, de acordo com a legislação

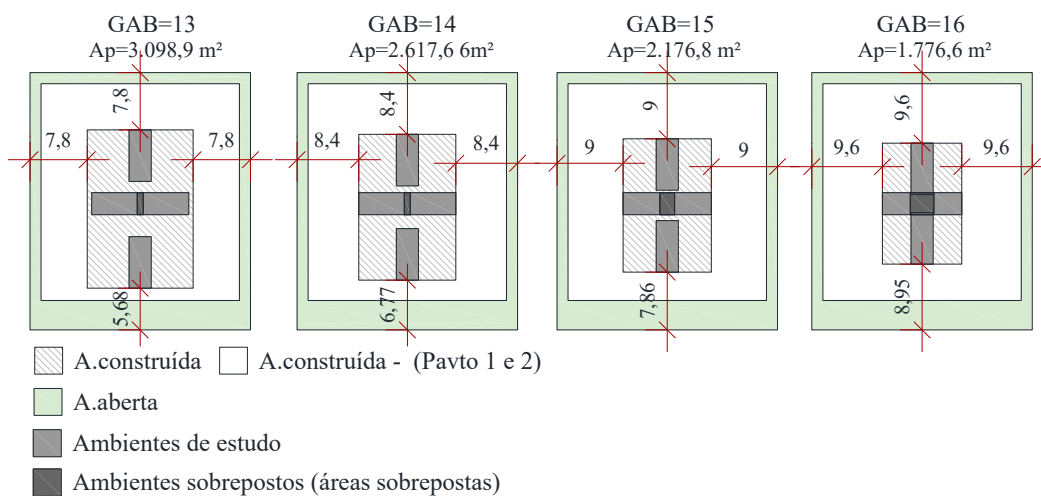


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Na variação 2, os pavimentos 1 e 2 apresentam TO diferenciada de 80% dos demais pavimentos, computando uma área de projeção de 796,50m² (29,5 m x 29,5 m), com 4 m de frente e 1,5 m de afastamento lateral e fundos (área de projeção na cor branca).

De acordo com a compra de índices, é permitida a construção de gabarito até 16. Entretanto, esses gabaritos não permitiram a inserção simultânea dos ambientes do estudo, em todas as fachadas, e por isso foram excluídos (gabarito 13 a 16) (Figura 47).

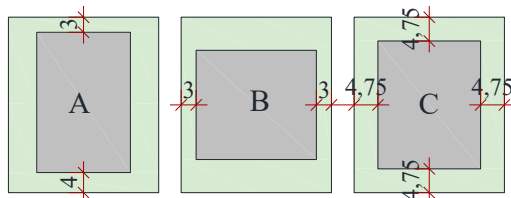
Figura 47 – Cenários de gabarito 13 a 16 da variação 2, excluídos do estudo



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Além da implantação da edificação limitada nos afastamentos laterais (situação B), a edificação de análise também é limitada pelos afastamentos mínimos de frente e fundos (situação A – possível apenas nos gabaritos 2 a 5) e centralizada no lote (situação C) (Figura 48).

Figura 48 – Situações de implantação do estudo de acordo com a legislação



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Em todas as situações, as edificações apresentam mesmo gabarito, IA e TO, e diferem apenas pela maneira como foram inseridas no lote.

3.4.2 Análise de desempenho com uso de índices informativos

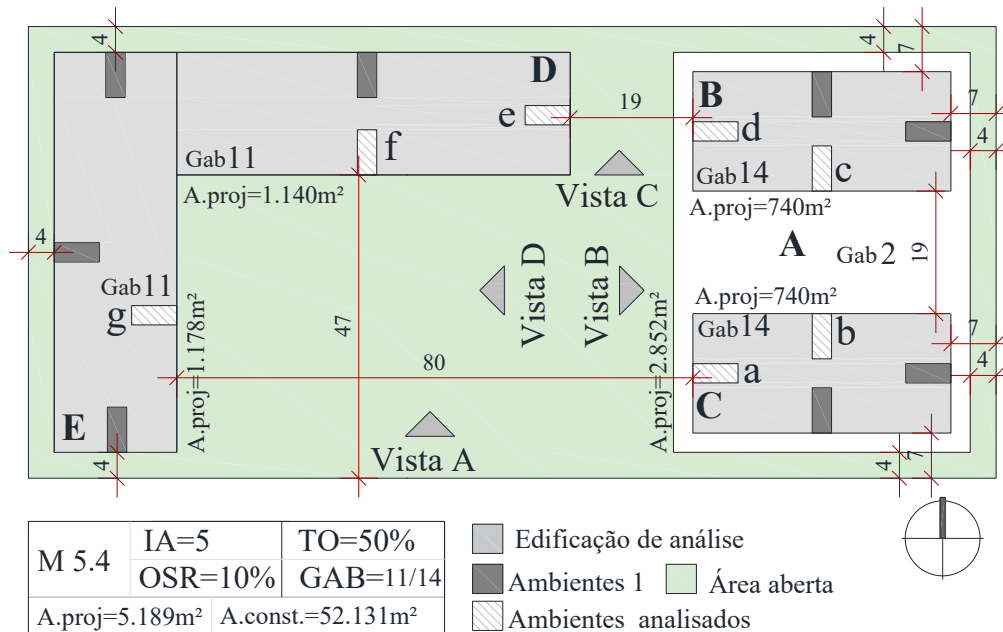
O uso do potencial construtivo máximo é requerido num contexto de cidades altamente densas, visto que maiores afastamentos entre edificações proporcionam uma situação mais propícia para a disponibilidade de luz natural dos ambientes internos, as análises foram realizadas considerando os índices normativos associados aos resultados de desempenho da pesquisa, na escala da quadra aberta.

A utilização dos índices informativos para projetar cenários que apresentam configurações urbanas favoráveis à luz natural no interior dos ambientes teve como intuito permitir uma maior autonomia na criação da forma da cidade. Para tanto, foi definido que os valores máximos dos índices normativos não seriam utilizados como limitadores, com exceção dos afastamentos mínimos.

Assim, investigou-se se os índices normativos, combinados com os informativos, poderiam melhorar os resultados de desempenho da luz natural no interior dos ambientes, sem provocar obstruções para as edificações do entorno.

A configuração de uma quadra aberta foi criada (Figura 49), de forma aleatória, com mesma área construída, escolhida uma combinação de mesmos parâmetros utilizados na pesquisa, referentes ao índice de aproveitamento igual a 5, taxa de ocupação igual a 50% e edificações com gabaritos 11 e 14.

Figura 49 – Cenário da quadra aberta



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Procurou-se dispor as edificações da quadra de maneira que contemplasse todas as tipologias analisadas. Os ambientes de estudo foram inseridos centralizados em todas as fachadas, considerando todos os pavimentos.

Os resultados de desempenho dos ambientes da quadra aberta foram comparados com os valores obtidos dos ambientes das tipologias simuladas anteriormente, de mesmos parâmetros urbanos.

3.5 FERRAMENTAS UTILIZADAS

3.5.1 Etapas 1 e 4 – Simulações paramétricas de diferentes formas urbanas

3.5.1.1 *Autonomia Espacial da Luz Natural – sDA*

A disponibilidade de luz natural foi verificada através da simulação da medida dinâmica Autonomia Espacial da Luz Natural – $sDA_{300,50\%}$, considerando-se o valor de 300 lux para 50% de horas de ocupação do ano. De acordo com o LM-83, um ponto em uma edificação pode ser considerado iluminado naturalmente se, pelo menos por metade do tempo ocupado (50%), a iluminância do plano de trabalho é acima de 300 lux, devido à luz natural (IESNA, 2012). O valor de 300 lux representa uma correlação melhor para a preferência dos ocupantes para suficiência da luz natural do que outras opções, como 100, 200, 500, 1000 lux (HESCHONG, 2012).

Em 2014, *Green Building Council* – EUA, adotou uma versão do LM-83 para avaliar o desempenho da luz natural em seu sistema de classificação de construção verde LEED v4 (USGBC, 2015), concedendo dois pontos para atingir um alvo de $sDA_{300,50\%}=55\%$ e três pontos pra atingir uma meta de $sDA_{300,50\%}=75\%$ na área ocupada regularmente. Em 2019, o valor de 55% alterou-se para 40% (USGBC, 2019).

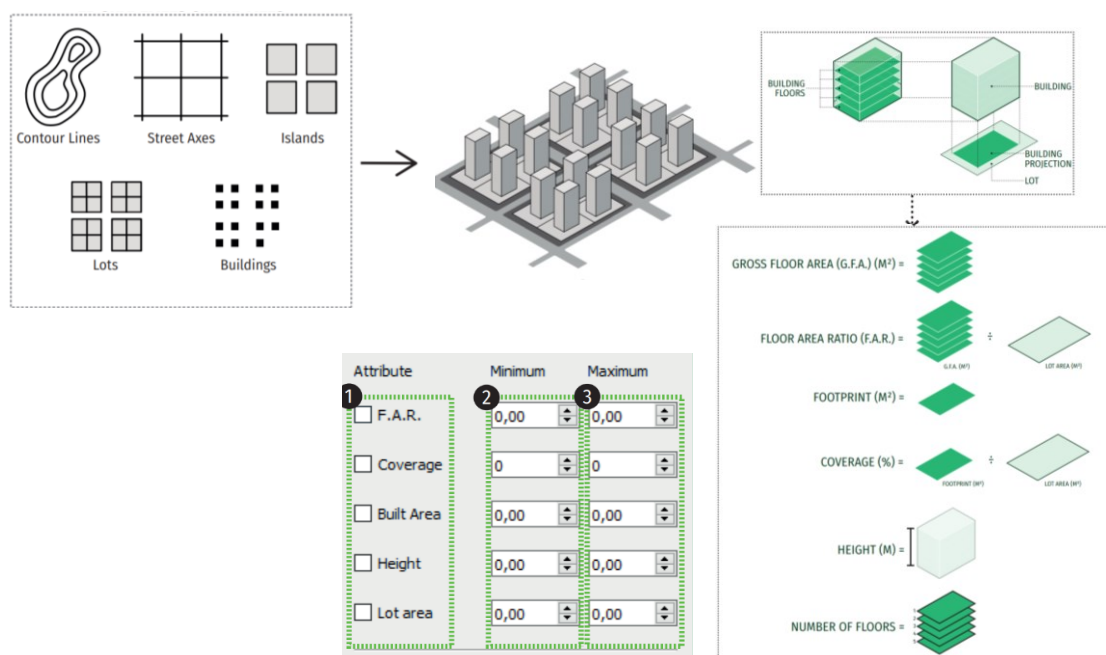
Esta pesquisa utilizou o valor referência de $sDA=45\%$, com base nos estudos de Saratsis, Dogan e Reinhart (2017), que estabelece o valor de $sDA\geq 45$, suficiente para a disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes.

3.5.1.2 *Criação dos cenários no programa computacional CityZoom*

Os cenários de diferentes configurações urbanas foram criados no programa computacional CityZoom. O *CityZoom* foi desenvolvido no Laboratório para Simulação e Modelagem em Arquitetura e Urbanismo – SimLab da UFRGS, para apoiar o processo de planejamento urbano por meio da inserção de dados reais, como a legislação urbana e dados cadastrais locais (GRAZZIOTIN; TURKIENICZ, 2004).

O *CityZoom* permite analisar o potencial construtivo da estrutura urbana (cidade, ruas, quadras, lotes, edifícios) (Figura 50) e, dessa forma, foi possível inserir dados referentes aos parâmetros urbanos (IA, TO, gabarito, afastamentos). Como resposta, obteve-se um valor máximo ou um valor mínimo esperado, cálculos das áreas construídas, das áreas de projeção, etc. Assim, através dos resultados obtidos pelo *CityZoom* foram combinados os parâmetros urbanos, criando os cenários da pesquisa.

Figura 50 – Dados de entrada no *CityZoom*



Fonte: NTU/UFRGS.

Na etapa 4, os novos cenários criados se basearam nos regulamentos do município de Florianópolis, o código de obras, o plano diretor e decretos municipais. Considerando cenários constituídos de todos os gabaritos até o valor máximo permitido pela legislação vigente, através do *CityZoom* foi possível identificar os valores do índice de aproveitamento e da taxa de ocupação correspondente para cada cenário criado, sendo possível atender ao potencial construtivo máximo da área escolhida para o estudo (AMC 16.5).

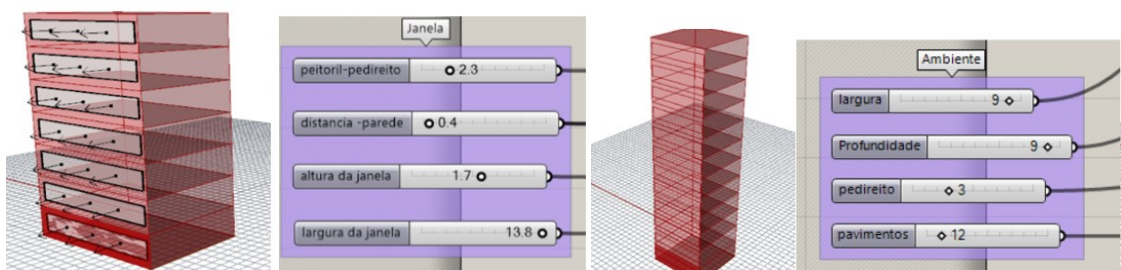
No estudo do lote com entorno consolidado, os valores de índice de aproveitamento e taxa de ocupação usados para as análises foram estabelecidos aleatoriamente. Dessa maneira, foi definido o gabarito máximo para poder alcançar o

maior potencial construtivo e foram analisadas diferentes maneiras de implantação, considerando o entorno urbano imediato.

3.5.1.3 Modelagem dos cenários e definições dos critérios para as simulações

O programa computacional utilizado para a modelagem dos cenários foi o *software Rhinoceros 6.0*. Trata-se de uma ferramenta de modelagem 3D, desenvolvida por Robert McNeel e Associates (MCNEEL, 2017). Utilizando-se do plug-in *Grasshopper*, compatível com o programa, diretamente conectado para a ferramenta de modelagem *Rhinoceros 6*, as mudanças feitas no algoritmo *Grasshopper* foram observadas na janela do *Rhinoceros*. Os parâmetros urbanos, a TO e o gabarito foram gerenciados parametricamente (sem necessidade de repetir todo o processo de desenho), assim como a profundidade dos ambientes de análise e as dimensões da abertura (Figura 51).

Figura 51 – Parâmetros urbanos e arquitetônicos parametrizados no *Grasshopper*



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Para as simulações da disponibilidade de luz natural foi utilizado o plug-in *DIVA 4.0*. O arquivo climático da cidade de Florianópolis, utilizado para a realização das simulações, foi do tipo SWERA, desenvolvido pelo projeto *Solar and Wind Energy Resource Assessment*, que permitiu considerar as medidas de todo o ano.

O período fixo das análises foi estabelecido em 3.650 horas para um ano completo de análises (IES, 2012). Atentou-se em não utilizar o horário de verão do hemisfério Norte (já presente no *default* do programa).

Os pontos de análise foram contínuos e distanciados a 80 cm, considerando a altura da área de trabalho em relação ao piso, com um distanciamento dos pontos de 50 em 50 cm.

As refletâncias dos materiais internos para piso, parede e teto foram estabelecidas em 20%, 50% e 70%, respectivamente, e a transmitância do vidro de 88%. Esses valores foram adotados baseados nas faixas de refletâncias úteis para as superfícies internas levantadas pela NBR ISO/CIE 8995-1(2013), de piso entre 0,1 e 0,5, de parede entre 0,3 e 0,8, e de teto entre 0,6 e 0,9.

Os parâmetros de simulação foram mantidos como *default* do programa, com exceção do “*Ambient bounces*”, que define o número máximo de inter-reflexões entre as superfícies dos objetos. O valor adotado para o estudo foi de 5, sendo considerado por Jakubiec (2014) como um valor que produz uma simulação suficientemente realista.

A refletância das superfícies externas das edificações foi fixada em 50%, valor próximo ao de 43,9%, obtido no estudo da caracterização de um coeficiente de reflexão médio para superfícies verticais na área central de Florianópolis (LEDER; PEREIRA; MORAES, 2007). As refletâncias do sistema viário e lotes foram fixadas em 20%.

3.5.2 Etapa 2 - Cálculos do Índice de Espaço Aberto – OSR

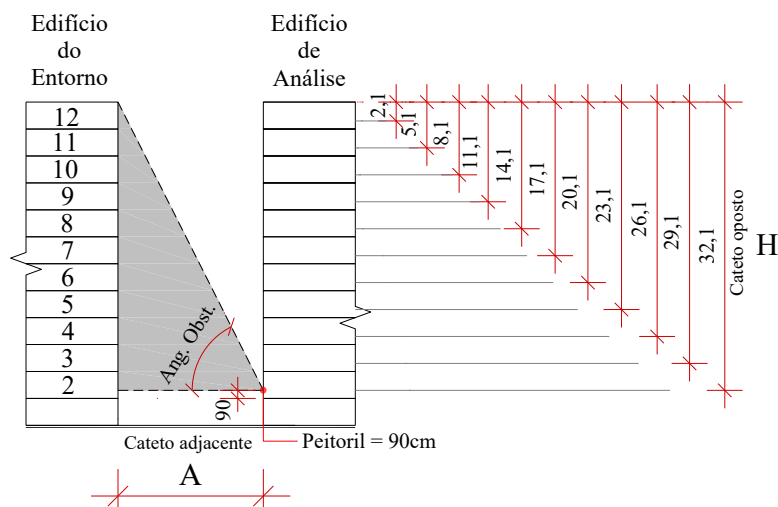
O índice de espaço aberto – OSR foi calculado pela fórmula $OSR = (1 - (TO/100) / IA)$ (BERGHAUSER-PONT; HAUPT, 2007). O OSR também pode ser obtido pela divisão do espaço aberto pelo espaço construído. O espaço aberto é a área do lote ou da quadra dividida pela área de projeção. O espaço construído é a área de projeção, multiplicada pelo número de pavimentos.

3.5.3 Etapa 3 – Correlação do ângulo de obstrução vertical e a porcentagem de céu visível

3.5.3.1.1 Cálculo trigonométrico do ângulo de obstrução

As medidas da altura (H) e do afastamento (A) entre a edificação de análise e a edificação do entorno formam um triângulo retângulo, sendo que, com a tangente do ângulo, torna-se possível calcular o ângulo vertical de obstrução, a partir da abertura dos ambientes de todos os pavimentos. (Figura 52).

Figura 52 – Altura e afastamento para o cálculo do ângulo de obstrução do entorno



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Para determinar o ângulo vertical de obstrução do entorno imediato foi utilizado o cálculo da razão entre a medida do cateto oposto (altura da obstrução) e a medida do cateto adjacente (afastamento da obstrução) da tangente do ângulo de obstrução, conforme equação a seguir:

$$\text{Tangente do Ângulo de Obstrução} = \frac{\text{H do peitoril da abertura até cobertura do último pavimento (cateto oposto)}}{\text{Afast. entre edificação do entorno e edifício de análise (cateto adjacente)}}$$

Considerando a dimensão da abertura dos ambientes de análise, definida com 3x1,20/0,90 (LxHxP), a altura da obstrução corresponde à distância entre o peitoril (90 cm) e a cobertura do último pavimento da edificação de análise.

3.5.3.1.2 Porcentagem de céu visível no programa computacional Apolux

Para o cálculo da porcentagem do fator de céu visível foi utilizada a ferramenta computacional de simulação da luz natural, o *software Apolux IX*, fundamentada nos algoritmos propostos por Claro (1998). O programa é capaz de determinar a relação de visibilidade entre diferentes pontos de um ambiente, bem como a exposição desses pontos à abóbada celeste. (CLARO et al, 2010). O uso das máscaras solares permitiu apresentar o percentual de céu visível para cada ambiente analisado.

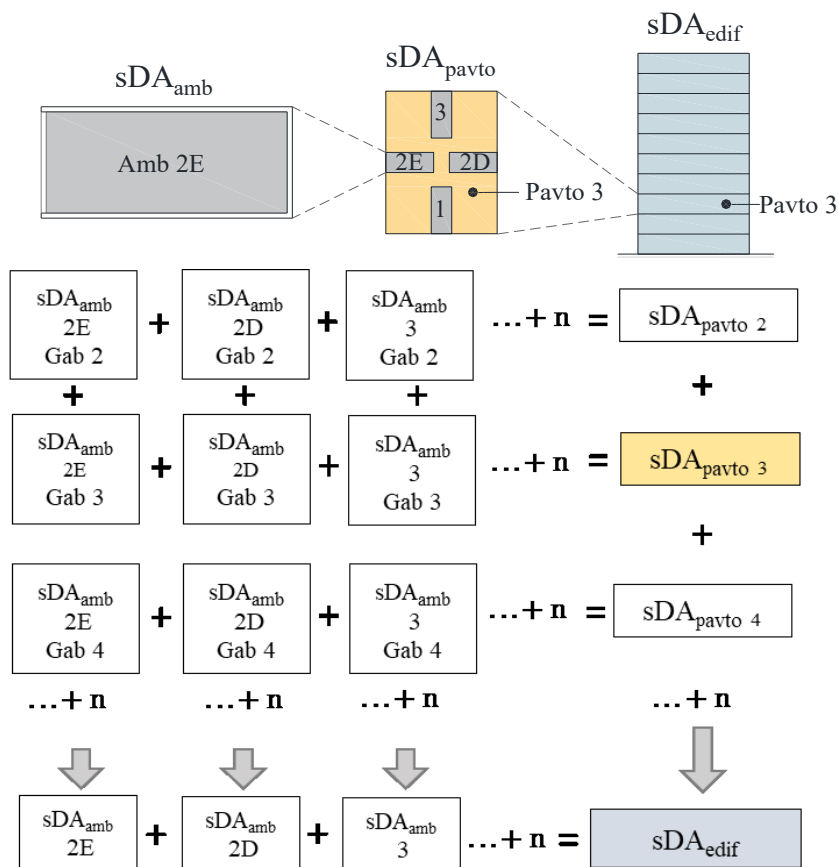
A porcentagem de céu visível foi simulada para todos os pavimentos de análise das tipologias estudadas, considerando também o centro do peitoril da abertura dos ambientes.

3.6 TRATAMENTO DOS DADOS

3.6.1 Etapa 1 – Desempenho da luz natural no interior do ambiente construído

Os resultados da disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes (sDA) foram analisados segundo: (a) sDA da edificação – sDA_{edif} , (b) sDA dos pavimentos – sDA_{pavto} , e (c) sDA dos ambientes – sDA_{amb} , conforme mostra a Figura 53.

Figura 53 – Esquema das análises do sDA: sDA_{edif} , sDA_{pavto} e sDA_{amb}



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

O sDA_{edif} corresponde ao somatório dos valores de sDA de todos os pavimentos existentes na edificação. Os cálculos do sDA_{pavto} contemplam os valores de sDA de todos os ambientes do pavimento e o sDA_{amb} , por sua vez, representa o somatório do mesmo ambiente (ambiente 1, ambiente 2E, 2D, 3, 4) em todos os pavimentos da edificação.

3.6.1.1 *Autonomia Espacial da Luz Natural – sDA_{edif}*

A disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes foi dividida em duas partes. Na primeira, os ambientes analisados foram mantidos com as características padrão e, posteriormente, com base nos resultados da primeira parte, os que não obtiveram resultados satisfatórios de desempenho foram simulados novamente, mantendo-se os mesmos parâmetros urbanos, alterando-se somente a profundidade do ambiente e a área de abertura.

3.6.1.1.1 Análises dos cenários considerando as características arquitetônicas padrão

Nas análises de sDA_{edif} e sDA_{pavto} somente foram considerados os ambientes obstruídos (situação mais restritiva); sendo assim, os ambientes voltados para o sistema viário não foram incluídos na pesquisa.

Os resultados da disponibilidade de luz natural foram classificados de acordo com a Tabela 4. Os valores de $sDA \geq 45\%$ foram considerados suficientes, hachurados nos gráficos e tabelas, na cor verde.

Tabela 4 – Categorização dos resultados de sDA – faixas de valores

Valores de sDA (%)	Resultado
100 - 45	satisfatório
44 - 30	não satisfatório
29 - 15	
14 - 0	

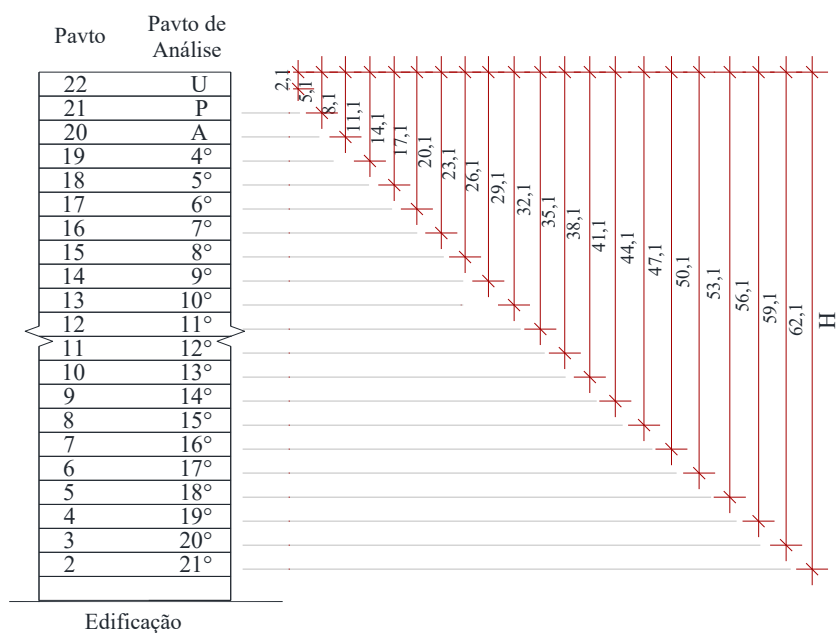
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Os resultados de $sDA < 45\%$, não-satisfatórios, foram divididos em três categorias: $sDA = 44\%$ a 30% (cor laranja escuro); $sDA = 29\%$ a 15% (laranja intermediário), e valores de sDA inferiores a 15% (laranja claro).

Para as análises, foram utilizados os pavimentos de análise – Pa. O primeiro pavimento de análise, e menos obstruído, refere-se ao último pavimento do gabarito (U). O segundo pavimento de análise corresponde ao penúltimo pavimento do gabarito (P) e assim por diante, até alcançar o 21º Pa, que correspondente ao pavimento 2, de um cenário de gabarito 22.

A Figura 54 mostra os pavimentos de análise e seus correspondentes pavimentos na edificação, sendo definidos com 3 metros de altura.

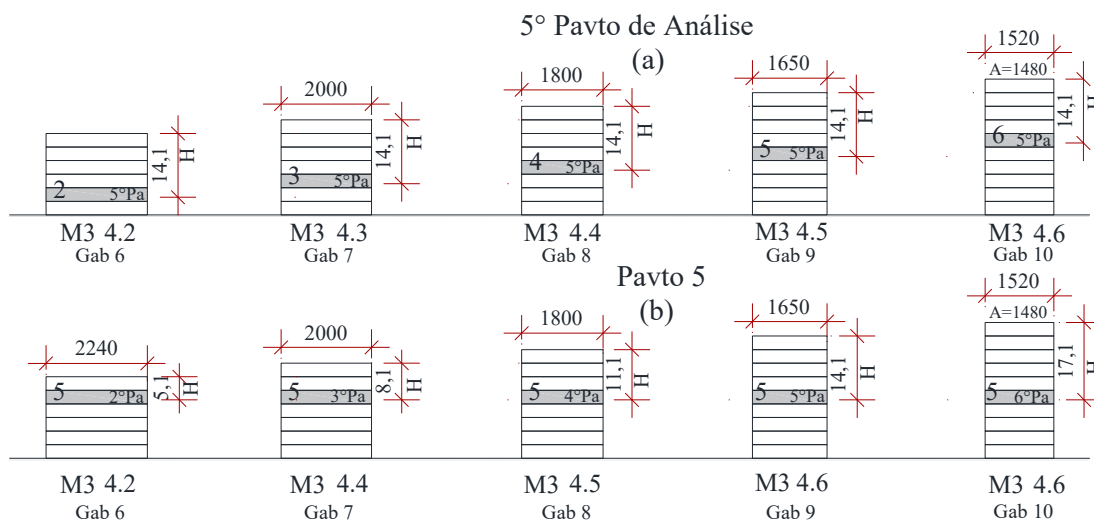
Figura 54 – Os pavimentos de análise de uma edificação de gabarito 22



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Esta estratégia adotada na pesquisa possibilitou a comparação de ambientes de diferentes cenários, que apresentam diferentes gabaritos. O uso da condição dos pavimentos de análise garante que a altura da obstrução seja a mesma (*Figura 55 a* – 5º pavimento de análise e $H=14,1$), sem que o cenário de menor gabarito apresente vantagem em relação ao de maior gabarito, devido a presença de maior obstrução (*Figura 55 b* – pavimento 5, Pa e H diferentes).

Figura 55 – Comparação do 5º pavimento de análise e dos pavimentos 5



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Os resultados de desempenho de um mesmo pavimento de análise, computado em diferentes faixas de sDA, foram denominados de transitórios e representados pela cor cinza.

No estudo do bloco isolado no lote, os valores de sDA_{edif} foram apresentados de acordo com a taxa de ocupação de 30%, 40%, 50%, 60%, 70% e 80% (Tabela 5).

Tabela 5 – Representação dos resultados de sDA_{edif}

ESTUDO PRELIMINAR - sDA_{edif} - BLOCO ISOLADO NO LOTE																									
GAB	TO=30%				TO=40%				TO=50%				TO=60%				TO=70%				TO=80%				
	sDA	Afast. Obst.	IA	OSR	sDA	Afast. Obst.	IA	OSR	sDA	Afast. Obst.	IA	OSR	sDA	Afast. Obst.	IA	OSR	sDA	Afast. Obst.	IA	OSR	sDA	Afast. Obst.	IA	OSR	
22																									
21																									
...																									
3																									
2																									
MODELO - sDA_{edif}																									
GAB	TO=30% a 39%				TO=40% a 49%				TO=50% a 59%				TO=60% a 69%				TO=70% a 80%								
	sDA	Afast. Obst.	IA	OSR	sDA	Afast. Obst.	IA	OSR	sDA	Afast. Obst.	IA	OSR	sDA	Afast. Obst.	IA	OSR	sDA	Afast. Obst.	IA	OSR	sDA	Afast. Obst.	IA	OSR	
22																									
21																									
...																									
3																									
2																									
Cenários com valores de $sDA \geq 45\%$																									
Cenários com valores de $sDA \geq 45\%$ e $sDA < 45\%$																									
Cenários com valores de $sDA \geq 45\%$																									

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No estudo das tipologias de quadras (M1, M2, M3 e M4), as taxas de ocupação foram categorizadas entre TO=30% a 39%, TO=40% a 49%, TO=50% a 59%, TO=60%

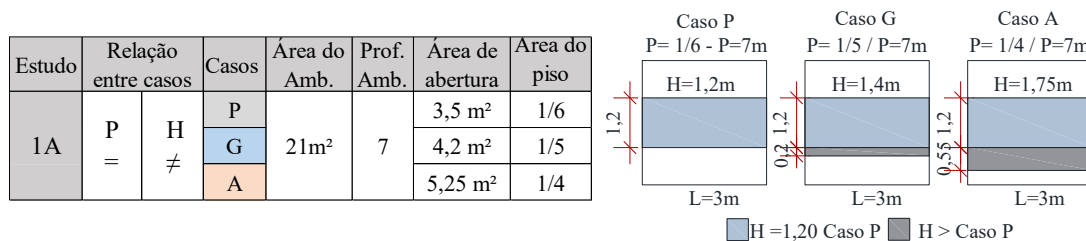
a 69% e TO=70% a 80%. Os valores correspondentes de IA, afastamento da obstrução e OSR também estão representados nessas tabelas.

3.6.1.1.2 Análises dos cenários considerando as diferentes características arquitetônicas

Nas primeiras análises de desempenho, nas quais as características arquitetônicas dos ambientes do estudo mantiveram-se fixas (caso padrão – P), os cenários que não obtiveram valores de desempenho satisfatórios foram simulados novamente, alterando-se a área de abertura de 1/6, para 1/5 e 1/4 da área do piso. Essas novas simulações foram realizadas somente para as análises dos valores de sDA_{edif} .

Neste estudo, denominado de 1A, o caso P foi comparado com os casos G (1/5) e A (1/4) (Figura 56) – ambientes com mesma profundidade – P e aberturas com diferentes alturas – H).

Figura 56 – Estudo 1A

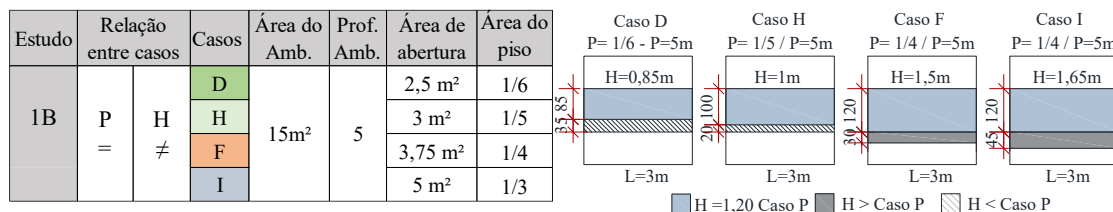


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A relação de 1/6 da área do piso é exigida no código de obras do município de Florianópolis, sendo considerada a situação mais restritiva. Os desenhos acima ilustrados com a hachura azul representam a área de abertura de cada caso analisado (mesma largura de 3 metros e diferentes alturas), sendo as demais marcações referentes ao aumento ou diminuição da área, em relação ao caso padrão.

No estudo 1B, a profundidade do ambiente foi diminuída de 7 metros para 5 metros, o que permitiu a inclusão da relação de 1/3 da área do piso (Figura 57). Os casos analisados foram o D (1/6 da área do piso), H (1/5), F (1/4) e I (1/3).

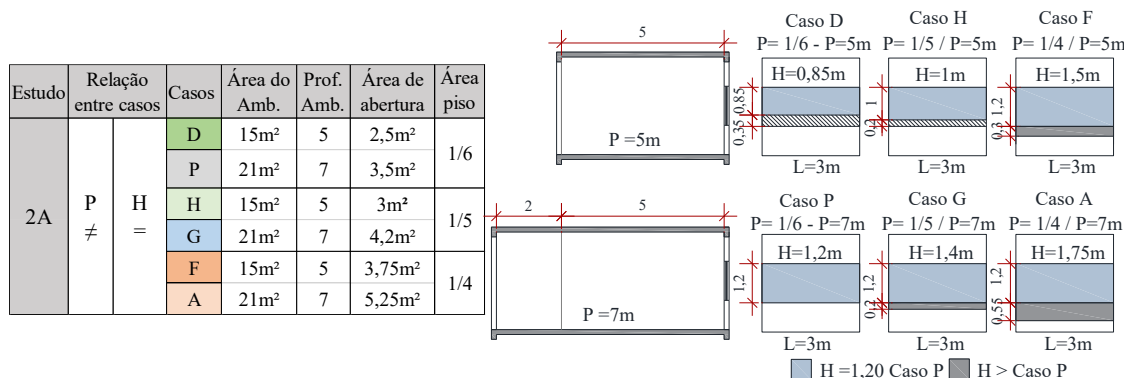
Figura 57 – Estudo 1B



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No estudo 2A, compararam-se casos que apresentam diferentes profundidades (5m e 7m) e mesma área de piso: 1/6 (casos D e P), 1/5 (casos H e G) e 1/4 (casos F e A) (Figura 58).

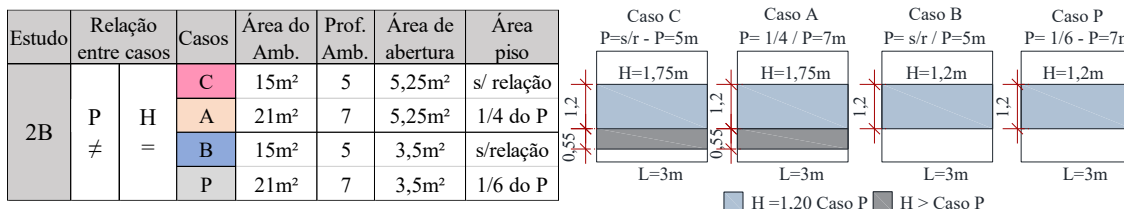
Figura 58 – Estudo 2A



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No estudo 2B, compararam-se cenários de diferentes profundidades e mesma área de abertura. Analisaram-se os casos C e A, e B e P (Figura 59).

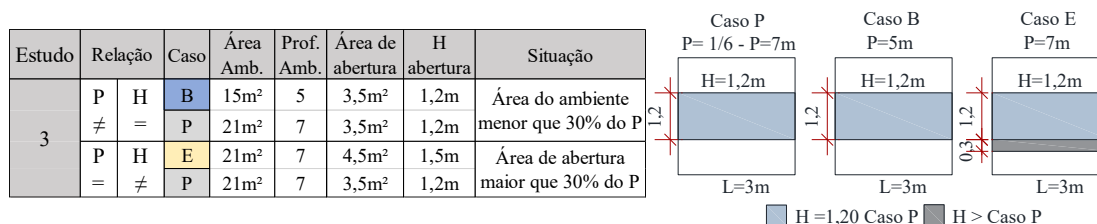
Figura 59 – Estudo 2B



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Por fim, o estudo 3 (Figura 60) analisa a relação entre o caso padrão e o caso B, que apresenta a área do ambiente menor em 30% e o caso E, onde a área de abertura é 30% maior.

Figura 60 – Estudo 3



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Notoriamente, quanto menor a profundidade e maior a área de abertura, os resultados de desempenho serão mais significativos, pois essas características arquitetônicas aumentam a exposição da luz natural no interior dos ambientes. Assim, o resultado de melhor desempenho entre cenários já é conhecido. Entretanto, essa etapa busca verificar a diferença percentual em relação à melhoria dos ambientes de análise, quando apresentadas características arquitetônicas que favorecem a exposição de luz natural.

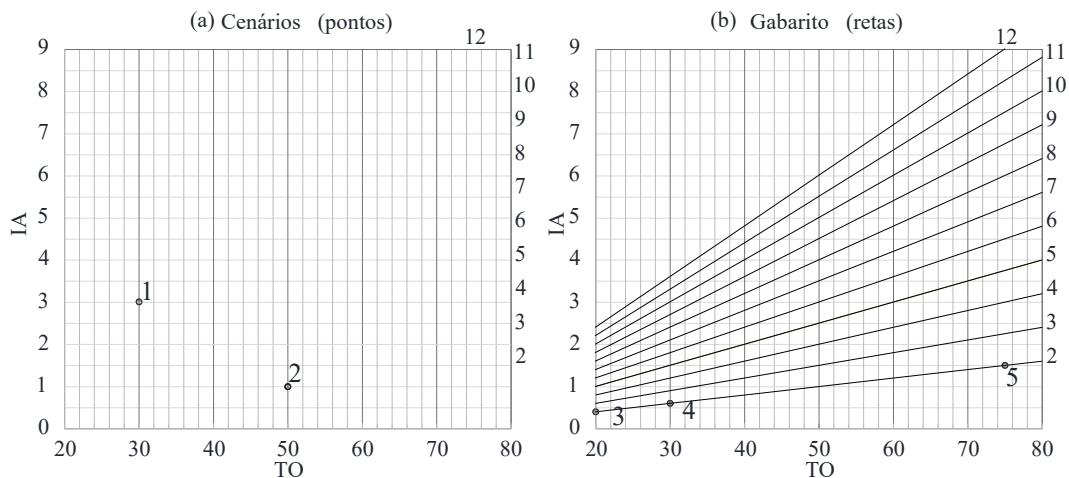
3.6.1.2 Apresentação dos resultados de desempenho no diagrama Spacemate

A adaptação da ferramenta gráfica *Spacemate*, criada por Berghauser-Pont e Haupt (2007), permitiu inserir os resultados de desempenho da luz natural no interior dos ambientes, de todos os cenários, de uma mesma tipologia arquitetônica, simultaneamente, o que colabora na escolha da melhor configuração urbana para um determinado projeto.

A seguir, estão apresentadas as partes da construção da ferramenta: parte A – inserção dos pontos (IA e TO), que representam os cenários; parte B – inserção dos gabaritos (retas sentido oblíquo); parte C – inserção dos valores de OSR, e, por fim, parte D – adaptação do diagrama para a inserção dos valores de sDA. A parte C será mostrada na próxima etapa da pesquisa.

Na Figura 61a estão marcados, no ponto 1, TO=30% e IA=3 e, no ponto 2, o cenário de TO=50% e IA=1 (parte A – no eixo X estão os valores de TO e no eixo Y, os de IA).

Figura 61 – Parte A (cenários) e parte B (gabarito) do *Spacemate*

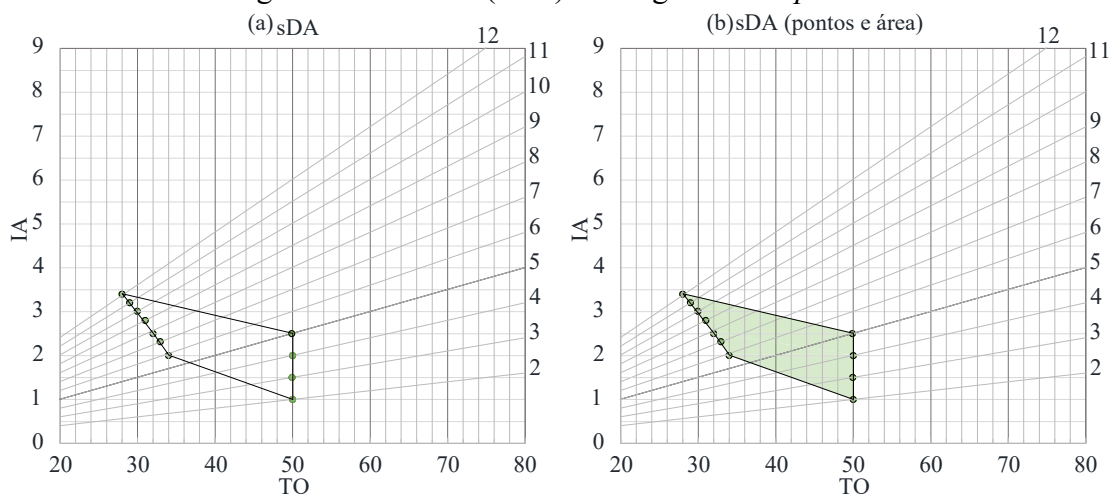


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A Figura 61b mostra os gabaritos, representados pelas linhas no sentido oblíquo, que foram criadas a partir do resultado de dois cenários de mesmo gabarito (demarcado pelo menos por dois pontos), como por exemplo, o ponto 3 (cenário de TO=20% e IA=0,4) e o ponto 5 (TO=75% e IA=0,6). O cruzamento do IA e da TO que coincidem nesta linha, constituem um cenário de gabarito 2, como é o exemplo do ponto 4 (TO=30% e IA=1,5).

Assim, a parte D (Figura 62) foi adaptada para inserção dos resultados dos valores de sDA_{edif} . Os cenários formados a partir da parte A (IA e TO) e da parte B (gabarito) foram unidos, resultando em até quatro áreas.

Figura 62 - Parte D (sDA) do diagrama do *Spacemate*



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A ligação dos pontos dos cenários que computaram o valor $sDA_{edif} \geq 45\%$ constitui uma área ilustrada na cor verde. Isso significa dizer que, se os cenários referentes ao ponto 3 e ao ponto 5, atenderam ao valor de $sDA \geq 45\%$, todos os cenários situados neste intervalo da linha do gabarito 2, também computaram valor de $sDA \geq 45\%$.

As outras três áreas são referentes aos valores de $sDA_{edif} = 44\%$ a 30%, $sDA_{edif} = 29\%$ a 15% e $sDA_{edif} < 15$, ilustradas em tons de laranja.

Para cada tipologia arquitetônica analisada na pesquisa foi criado um diagrama: o bloco isolado no lote, os blocos isolados na quadra (M1), ocupação perimetral (M2), edificações laminares paralelas (M3) e tipologia híbrida, com 1º e 2º pavimentos diferenciados. Foi criado um diagrama para cada tipologia analisada, visto que cada modelo apresenta diferentes geometrias e disposição das edificações que, de acordo com as refletâncias externas consideradas nas simulações, influenciam de maneiras diferentes os resultados de desempenho.

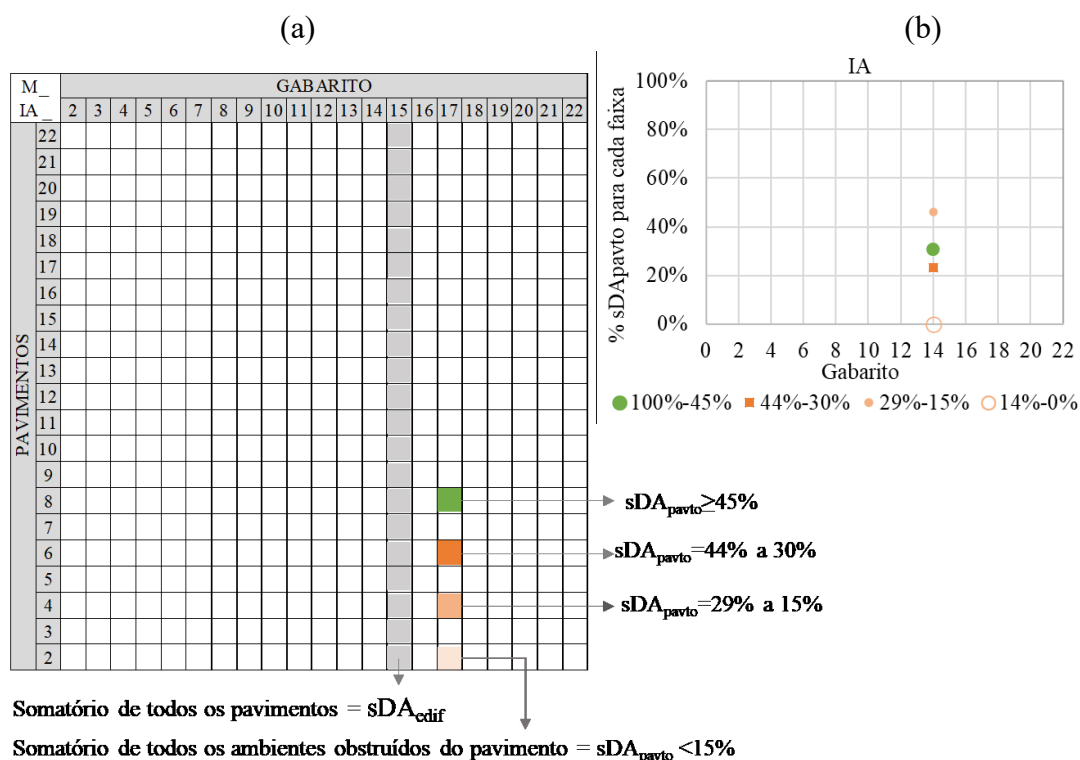
3.6.1.3 *Autonomia Espacial da Luz Natural – sDA_{pavto}*

Os valores de sDA_{pavto} referem-se ao somatório dos ambientes obstruídos de cada pavimento da edificação de análise. Os ambientes considerados obstruídos no bloco isolado no lote e no M1, M3 e M4 foram o 2D e 2E (ambientes laterais) e, no M4, os ambientes voltados para o pátio interno (4Fr e 4Fu).

No estudo do bloco isolado no lote, os resultados foram apresentados considerando a taxa de ocupação (30%, 40%, 50%, 60%, 70% e 80%) e, nas tipologias de quadra, em relação aos índices de aproveitamento (1, 2, 3, 4, 5, 6, e 7).

No cruzamento da linha horizontal (gabarito) com a linha vertical (cada pavimento) (Figura 63a) estão os resultados de sDA_{pavto} , divididos de acordo com as quatro faixas de valores de sDA .

Os cenários foram posteriormente categorizados, sendo considerado o mais significativo, o que obteve maior percentual em $sDA \geq 45\%$, enquanto o mais restritivo foi o que obteve maior porcentagem na faixa de $sDA < 15\%$. Quanto maior a porcentagem na faixa de $sDA = 44\%$ a 30% e menor a porcentagem na faixa de $sDA = 29\%$ a 15%, melhores devem ser os resultados de desempenho da luz natural (Figura 63b).

Figura 63 – Representações dos resultados de sDA_{pavto} das tipologias de quadra

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

De acordo com os valores obtidos de sDA_{edif} foi possível verificar se os cenários que obtiveram pelo menos 50% dos pavimentos atendidos foram os mesmos que computaram valor de desempenho de sDA_{edif} satisfatório.

3.6.1.4 Autonomia Espacial da Luz Natural – sDA_{amb}

Os valores de sDA_{amb} são referentes aos ambientes de mesma posição, considerando todos os pavimentos da edificação de análise: ambiente 1 (frente – orientação sul), ambiente 2E (lateral – oeste), ambiente 2D (lateral – leste) e ambientes 3 (fundos – orientação norte), que foram computados separadamente (Tabela 6).

Tabela 6 – Representação dos valores de sDA_{amb}

sDA _{amb} - BLOCO ISOLADO NO LOTE																																			
GAB	TO=30%					TO=40%					TO=50%					TO=60%					TO=70%					TO=80%									
	IA	1	2E	2D	3	GAB	IA	1	2E	2D	3	GAB	IA	1	2E	2D	3	GAB	IA	1	2E	2D	3	GAB	IA	1	2E	2D	3	GAB	IA	1	2E	2D	3
22						22						22						22						22						22					
21						21						21						21						21						21					
...										
...										
3						3						3						3						3						3					
2						2						2						2						2						2					
Cenários com valores de $sDA_{amb} \geq 45\%$																																			
Cenários com valores de transição ($sDA_{amb} \geq 45\%$ e $sDA_{amb} < 45\%$)																																			
Cenários com valores de $sDA_{amb} \geq 45\%$																																			
sDA _{amb} - (M1, M3 e M4)																																			
GAB	IA 1				IA 2				IA 3				IA 4				IA 5				IA 6				IA 7										
	TO	1	2	3	TO	1	2	3	TO	1	2	3	TO	1	2	3	TO	1	2	3	TO	1	2	3	TO	1	2	3	TO	1	2	3			
22																																			
21																																			
...																																			
...																																			
3																																			
2																																			

1 = ambientes de frente 2 = ambientes laterais 3 = ambientes de fundos

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Em relação aos valores de sDA_{amb} , considerando as tipologias das quadras, os resultados de desempenho dos ambientes foram computados levando em conta somente os pavimentos obstruídos de cada modelo. No M1, M3 e M4, os ambientes analisados foram o 1, 2 (2E+2D) e 3.

No M4 foram realizados estudos para verificar as seguintes situações: (1) análise somente dos ambientes voltados para o sistema viário (1Fr+1Fu+1D+1E); (2) somente os ambientes voltados para o pátio interno (4Fr+4Fu+4D+4E); (3) somente os ambientes 4Fr+4Fu, e (4) somente os ambientes 4D+4E.

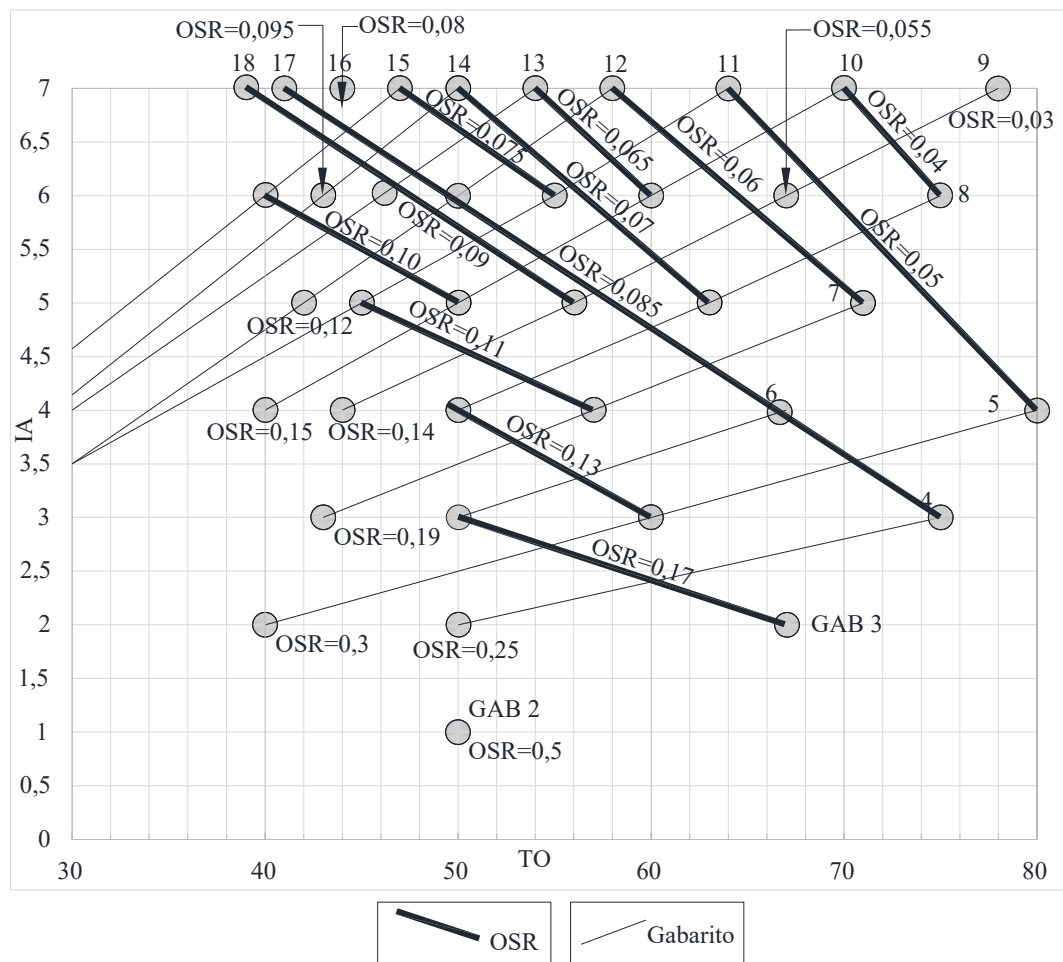
Nesta parte da pesquisa foi possível verificar a influência da orientação solar nos resultados de desempenho e a diferença percentual dos ambientes, considerando os mais significativos pela posição apresentada no lote e na quadra, o ambiente 1, em relação aos ambientes laterais e de fundos.

3.6.2 Etapa 2 – O Índice de Espaço Aberto – OSR

No diagrama *Spacemate*, a parte C corresponde aos valores do índice de espaço aberto – OSR, representados pelas linhas oblíquas em negrito, calculados através da fórmula $OSR = (1 - (TO/100)) / IA$.

A Figura 64 mostra os valores de OSR dos cenários do M3 (tipologia de edificações laminares paralelas).

Figura 64 – Parte C (OSR) - pontos

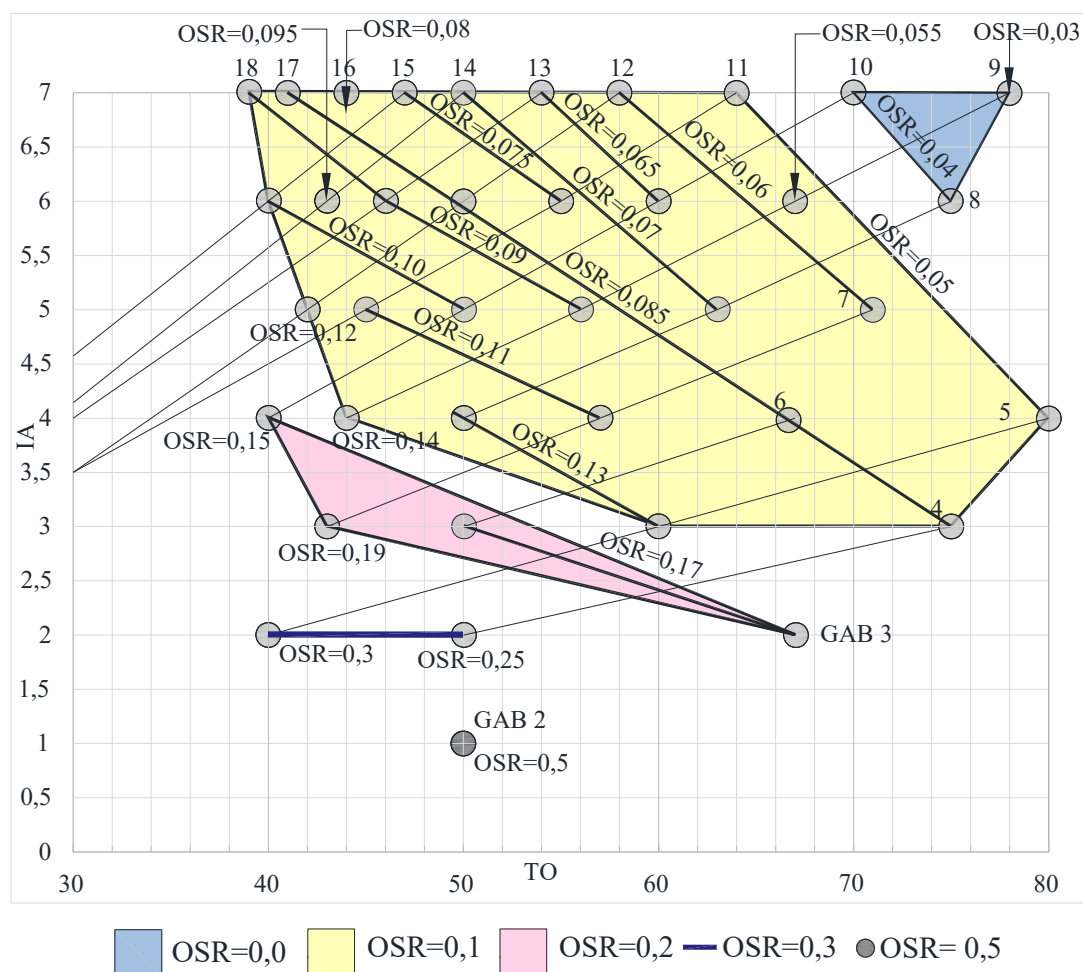


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Para possibilitar a criação de áreas com mesmo valor de OSR, mesma estratégia utilizada anteriormente em relação aos valores de sDA ($sDA \geq 45\%$, $sDA = 44\%$ a 30% , $sDA = 29\%$ a 15% e $sDA < 15\%$), os valores de OSR foram arredondados, e considerados conforme divisão a seguir: (a) 0,0 a 0,4 iguais a $OSR = 0,0$; (b) 0,5 a 1,4 iguais a $OSR = 0,1$; (c) 1,5 a 2,4 iguais a $OSR = 0,2$; (d) 2,5 a 3,4 iguais a $OSR = 0,3$ e, assim, sucessivamente.

Após marcação dos cenários com o arredondamentos dos seus respectivos valores de OSR, os pontos dentro do intervalo estipulado de OSR foram ligados entre si, gerando áreas (Figura 65), iguais a 0,0, 0,1, 0,2, 0,3 e 0,5.

Figura 65 – Parte C (OSR) - área



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

O cenário de gabarito igual 9, TO=61% e IA=5,4, por exemplo, não foi simulado na pesquisa, mas coincidiu com a linha oblíqua, que representa o valor de OSR=0,07, o que significa que também possui este valor de OSR. O cenário de gabarito igual a 5, TO=74% e IA=3,7, também não foi simulado na pesquisa, mas encontra-se dentro do limite da área criada para o OSR=0,1, com valor de 0,07. O cenário de gabarito 2, IA=1 e TO=50% está representado por um ponto, pois foi o único que obteve o valor de OSR=0,5.

Os valores de OSR foram posteriormente sobrepostos aos resultados de desempenho no diagrama *Spacemate*, o que permitiu correlacioná-los, na tentativa de identificar o valor mínimo que um cenário (tipologia e combinação dos parâmetros) deve obter, para computar resultados de desempenho satisfatório.

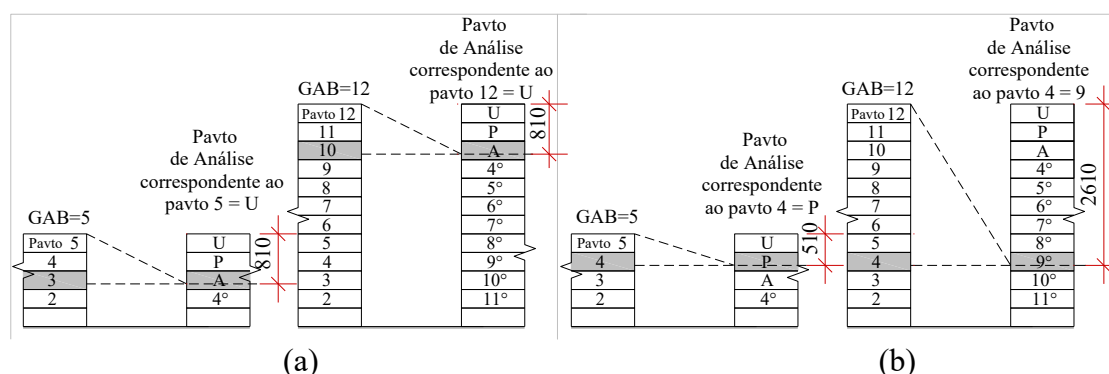
3.6.3 Etapa 3 – Ângulo de obstrução vertical e a porcentagem de céu visível

3.6.3.1.1 Ângulo de obstrução vertical

O ângulo de obstrução vertical não foi calculado para os ambientes 1, pois não apresentam as condições mais restritivas. Considera-se que, se os valores encontrados nos demais ambientes forem satisfatórios, serão também para os ambientes 1.

Para exemplificar a diferença entre analisar um mesmo pavimento de análise e um pavimento de uma edificação, foi realizado um estudo para comparar um cenário de gabarito 5 e um cenário de gabarito 12 (Figura 66), considerando a edificação do entorno com a mesma altura da edificação de análise e, entre as situações, mesmos afastamentos da obstrução.

Figura 66 – Relação entre ângulo de obstrução entre edificações com diferentes gabaritos



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No gabarito 5, o 3º pavimento de análise (antepenúltimo – A) corresponde ao pavimento 3 e, no gabarito 12, ao pavimento 10 (Figura 66a). Com as alturas iguais da obstrução de 8,10 m, ambos os cenários possuem mesmo ângulo de obstrução.

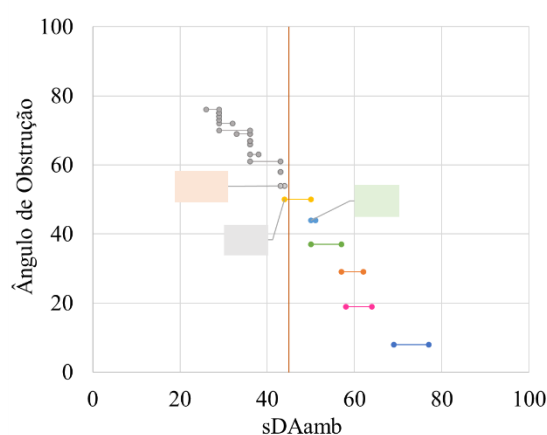
Entretanto, se comparado ao desempenho no 4º pavimento, por exemplo, (Figura 66b) o cenário com gabarito 5 apresenta vantagem em relação ao cenário de gabarito 12. Com menor altura (5,10 m), o ângulo é menor para gabarito 5 (5,10 m) do que para o gabarito 12 (26,10 m). Comparando cenários com gabaritos diferentes, num mesmo pavimento e mesma distância da obstrução, o ângulo sempre será menor para o cenário de menor gabarito.

Assim, o ângulo de obstrução dos ambientes da pesquisa foi calculado considerando o pavimento de análise – Pa, o que permitiu obter a mesma altura (do

peitoril da abertura do ambiente até a cobertura do último pavimento) entre cenários, e comparar. Desse modo, os resultados puderam ser comparados e relacionados com os valores de sDA de cada pavimento, sem favorecer a edificação com menor gabarito.

Os ângulos de obstrução vertical foram representados em gráficos de acordo com os valores de sDA_{amb} (Figura 67). No estudo do bloco isolado no lote foram categorizados de acordo com os valores de $TO=30\%$, 40% , 50% , 60% , 70% e 80% e nas tipologias de quadra, pelas faixas de $TO=30\%$ a 39% , 40% a 49% , 50% a 59% , 60% a 69% e 70% a 80% .

Figura 67 – Representação do ângulo limite para $sDA=45\%$



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Cada linha horizontal representa os valores computados de sDA_{amb} de um determinado pavimento de análise. Em cinza, são as linhas que correspondem aos pavimentos de análise que computaram todos resultados de $sDA < 45\%$. As linhas coloridas representam os pavimentos de análise que obtiveram desempenho satisfatório.

Nos extremos das linhas horizontais, estão o maior e o menor valor computado de sDA referente ao pavimento de análise. Os pavimentos de análise que cruzam o valor de $sDA=45\%$ (linha vertical laranja) são os transitórios, sendo computados resultados de $sDA \geq 45\%$ e $sDA < 45\%$.

No gráfico está representado, também, o valor mínimo do ângulo de obstrução para se obter resultado de desempenho satisfatório, sendo este hachurado na cor verde. Se um determinado pavimento computar valores iguais ou acima do valor que se encontra na hachura laranja, os resultados de desempenho não estarão garantidos.

Os valores entre o limite máximo e o limite mínimo foram considerados ângulos transitórios e estes poderão computar ambos os resultados. Os cálculos do ângulo de obstrução analisam unicamente a obstrução em relação à edificação localizada frontalmente ao edifício de análise, desconsiderando as obstruções laterais. Por isso, o estudo foi complementado com a porcentagem de céu visível, que analisa toda a abóbada celeste. Quando comparados diferentes cenários com o valor do ângulo de obstrução vertical similar, a porcentagem de céu visível pode ser utilizada para identificar o cenário de maior desempenho.

3.6.3.1.2 Porcentagem de céu visível

A porcentagem de céu visível somente foi simulada para os ambientes considerados obstruídos e, por isso, os ambientes 1 foram excluídos desta parte da pesquisa. A porcentagem de céu visível foi computada para cada pavimento de análise e os valores correlacionados com o ângulo de obstrução e os resultados de desempenho.

Os resultados da porcentagem de céu visível foram representados em gráfico, da mesma maneira que foi realizado no estudo do ângulo de obstrução vertical.

Entretanto, inversamente proporcional aos valores do ângulo de obstrução, o valor mínimo da porcentagem de céu visível corresponde ao valor hachurado em verde, e o valor máximo, ao valor hachurado em laranja.

3.6.4 Etapa 4 – Combinação de índices normativos e informativos

As tabelas de correlação e transição, que apresentam os resultados da pesquisa, poderão ser utilizadas para analisar diferentes formas urbanas. Situações foram criadas, com o intuito de verificar se os resultados de desempenho aumentam, quando combinados os índices normativos e informativos.

3.6.5 Apresentação dos resultados nas tabelas de correlação e transição

A tabela de correlação apresenta os resultados de desempenho das configurações urbanas simuladas na pesquisa e os relaciona com o ângulo de obstrução e porcentagem de céu visível, de acordo com cada pavimento de análise – P. A tabela expõe os valores máximos e os valores mínimos de cada um desses parâmetros (Tabela 7). Ressalta-se que o 1º Pa corresponde ao último pavimento da edificação analisada.

Tabela 7 – Tabela de correlação

TABELA DE TRANSIÇÃO											
Pa	sDA _{amb} (ambientes obstruídos)	Ang. Obst.		% Céu Visível		Afást. Obstr.		Gabarito		IA/ TO	
1º											
2º											
...											
...											
20º											
21º											
Cenários com valores de sDA≥45%											
Cenários com valores de transição (sDA≥45 e sDA<45%)											
Cenários com valores de sDA≥45%											

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Os ambientes 1 também não foram incluídos nesta parte da pesquisa. No M2 foram analisados somente os ambientes 4Fr e 4Fu. Os blocos isolados no lote e o estudo das quadras foram apresentados, em relação à taxa de ocupação, com as mesmas divisões das análises anteriores. Para encontrar o valor do ângulo de obstrução e a porcentagem de céu visível correspondentes ao valor de sDA=45%, foram criadas as tabelas de transição.

Tabela 8 – Tabela de Transição

TABELA DE TRANSIÇÃO - BLOCO ISOLADO NO LOTE					
TO=40%					
Pavimnto de análise (Pa)	sDA _{amb} 2E+2D+3	Ang. Obst.	% Céu Visível	GAB	IA
U (1º)					
P (2º)					
...					
Pa de transição					
...					
20º					
21º					

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

As tabelas de transição mostram em quais pavimentos de análise foram computados o menor resultado na faixa de $sDA \geq 45\%$ e o maior valor na faixa de $sDA = 44\%$ a 30% para cada configuração urbana analisada na pesquisa.

3.6.6 Utilização dos resultados da pesquisa

Com o intuito de utilizar os resultados de desempenho simulados na pesquisa, foram gerados os três passos a seguir:

3.6.6.1 *Passo 1: Identificar o resultado de desempenho de uma determinada forma urbana no diagrama Spacemate*

No diagrama *Spacemate*, é possível posicionar a taxa de ocupação no eixo X, o índice de aproveitamento no eixo Y e, cruzando esses parâmetros até a linha oblíqua do referente gabarito, é demarcado um ponto no diagrama, que representa o cenário urbano a ser analisado. Se esse ponto tiver sido inserido na área correspondente ao valor de $sDA \geq 45\%$ (ilustrado na cor verde), o resultado de desempenho da edificação será considerado satisfatório. Provavelmente, mais de uma opção será considerada adequada.

Nessa situação, para comparar dois cenários que obtiveram resultado de sDA satisfatório, por exemplo, o valor de OSR pode ser consultado para verificar qual obteve melhor desempenho. Quanto maior a área aberta (área do lote/área de projeção), maior será o valor de OSR. Quanto maior o OSR, melhor o desempenho. Os valores de sDA e OSR resultaram em áreas no diagrama que foram sobrepostas, possibilitando a correlação entre estes valores.

O digrama permite visualizar, simultaneamente, todos os resultados e optar pelo que apresenta a melhor solução para um determinado projeto, considerando o desempenho da luz natural no interior dos ambientes. Se o intuito é analisar todos os pavimentos dessa edificação, primeiramente devem ser calculados os ângulos de obstrução vertical.

3.6.6.2 *Passo 2: Calcular o ângulo de obstrução vertical dos pavimentos da edificação a ser implantada*

Para verificar o desempenho de todos os pavimentos de uma edificação, a partir da altura da obstrução e o afastamento entre essas edificações, são calculadas as tangentes dos ângulos de obstrução vertical.

3.6.6.3 *Passo 3: Consultar as tabelas de correlação e de transição*

Na tabela de correlação, os valores de sDA e os ângulos de obstrução encontrados no passo anterior estão correlacionados, permitindo verificar o resultado de desempenho em cada pavimento de análise.

Para os pavimentos de análise transitórios, o valor máximo que o ângulo de obstrução deve alcançar para garantir resultado satisfatório está na tabela de transição.

3.6.7 Testes do desempenho através da combinação de índices normativos e informativos

Foram criados novos cenários, de diferentes configurações urbanas e disposições das edificações na quadra, para testar os índices normativos tradicionais e os índices informativos (desempenho de performance), utilizando-se os resultados da pesquisa, apresentados nas tabelas de correlação e nas tabelas de transição.

No primeiro estudo, foi analisada uma edificação inserida num lote de entorno consolidado e escolhida a melhor configuração urbana. O desempenho de cada pavimento de análise foi obtido de acordo com os três passos para utilizar os resultados da pesquisa.

No segundo estudo, os primeiros cenários criados consideraram a legislação da cidade de Florianópolis, sendo escolhida uma área altamente densa para essas análises. O potencial máximo construtivo do lote foi considerado na concepção dos cenários permitidos pela legislação vigente. Os resultados de desempenho desses cenários foram

simulados e, posteriormente, comparados de acordo com resultados encontrados nas tabelas.

O terceiro estudo desenvolvido foi o da quadra de tipologia aberta, na qual as edificações foram dispostas de forma aleatória e a configuração urbana escolhida, comparada com as quatro tipologias arquitetônicas da pesquisa. Na quadra aberta foram considerados os afastamentos mínimos permitidos entre edificações (legislação de Florianópolis), todavia, sem atentar para o gabarito e a taxa de ocupação máximos. Para verificar os resultados de desempenho de cada pavimento de análise, os valores dos ângulos calculados foram correlacionados com os resultados obtidos nas tabelas finais da pesquisa.

O intuito desta parte da pesquisa é verificar se os regulamentos normativos tradicionais podem ser utilizados em conjunto com os critérios performativos (resultados de desempenho – OSR, ângulo de obstrução e porcentagem de céu visível) com o objetivo de melhorar a qualidade do espaço urbano, de maneira a não ser necessário estipular valores máximos de alguns índices urbanísticos, como o gabarito e a taxa de ocupação.

4 RESULTADOS

O desempenho da luz natural dos cenários simulados foi analisado e está apresentado a seguir. Os resultados da pesquisa permitem avaliar as formas urbanas, através da correlação entre os valores de desempenho, índice de espaço aberto, ângulo de obstrução vertical e porcentagem de céu visível. Investigam-se as combinações de diferentes configurações urbanas, que resultaram em desempenho para favorecer a entrada da luz natural no interior do ambiente construído.

No final do capítulo estão apresentados, resumidamente, em gráficos e tabelas, os principais resultados da pesquisa.

4.1 ETAPA 1 – DESEMPENHO DA LUZ NATURAL NO INTERIOR DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

4.1.1 Autonomia Espacial da Luz Natural – sDA

As configurações urbanas dos cenários criados na pesquisa (IA, TO, gabarito, área construída total, área de projeção, afastamentos) do bloco isolado no lote estão apresentadas no APÊNDICE A e as das tipologias de quadra estão no APÊNDICE B. As análises consideraram os valores de sDA da edificação – sDA_{edif} , sDA do pavimento – sDA_{pavto} e o sDA dos ambientes – sDA_{amb} .

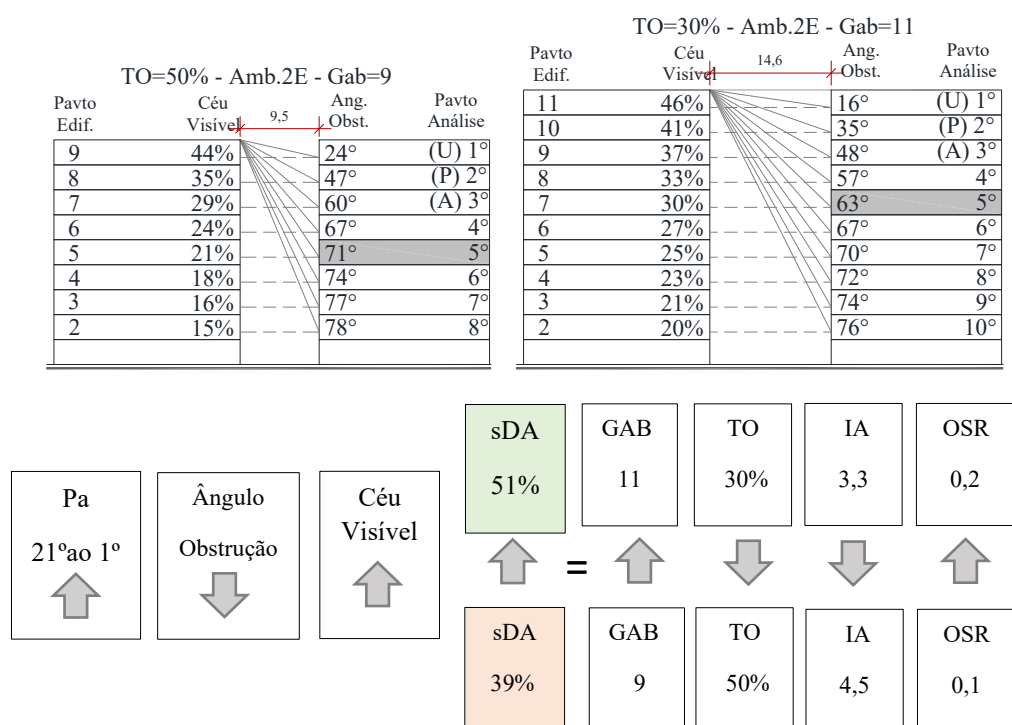
4.1.1.1 Autonomia Espacial da Luz Natural da edificação – sDA_{edif}

Os valores de sDA_{edif} referem-se ao somatório dos valores de desempenho, considerando todos os pavimentos de uma determinada edificação. No APÊNDICE C encontram-se os resultados da tipologia do bloco isolado no lote e, no APÊNDICE D, das

tipologias de quadra. Esses resultados foram correlacionados com o ângulo de obstrução vertical e a porcentagem de céu visível e índice de espaço aberto – OSR.

De acordo com os resultados de sDA_{edif} , constatou-se que, nos cenários de maior gabarito, quando o índice de aproveitamento e a taxa de ocupação diminuem, os resultados de desempenho encontram-se mais elevados, como no cenário de gabarito 11 ($sDA_{edif}=51\%$, $TO=30\%$, $IA=3,3$, $OSR=0,2$), por exemplo, quando analisado com o cenário de gabarito 9 ($sDA_{edif}=39\%$, $TO=50\%$, $IA=4,5$ e $OSR=0,1$) (Figura 68).

Figura 68 – Análise do ângulo e céu visível entre cenários no 5º Pa



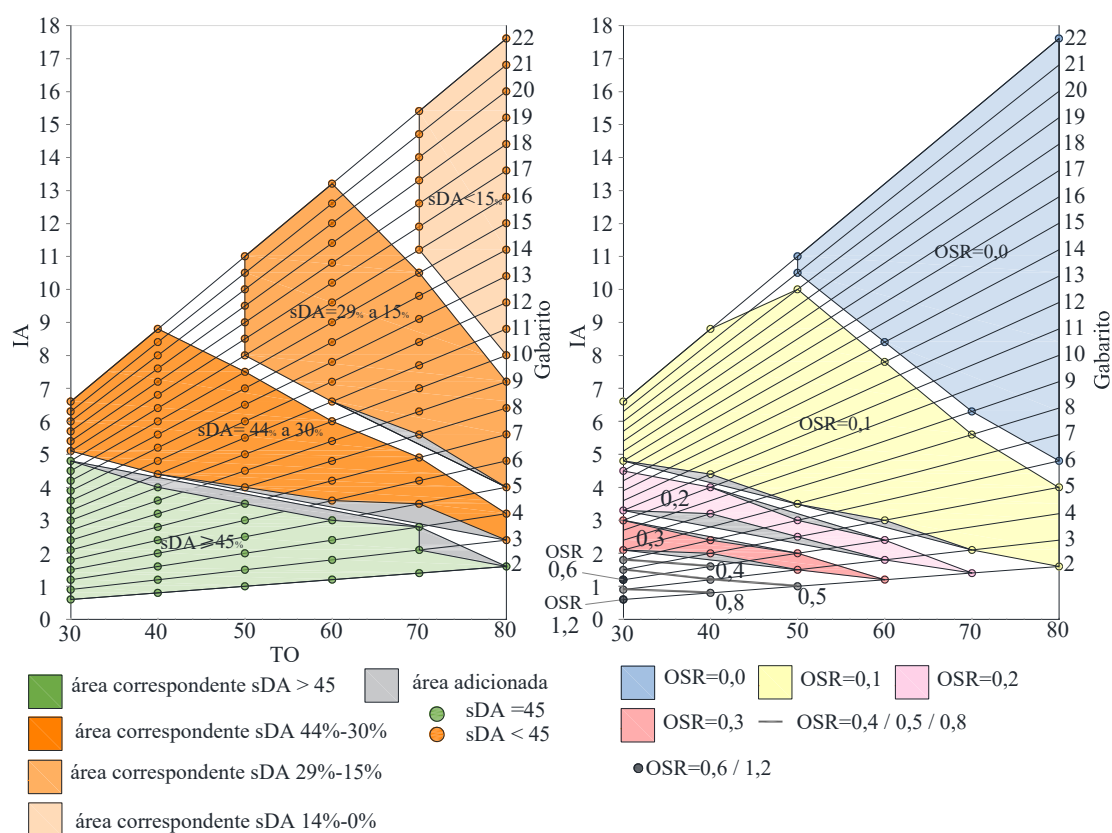
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Considerando o ângulo de obstrução e a porcentagem de céu visível no 5º Pa, confirma-se o ângulo de obstrução menor e a maior porcentagem de céu visível (situação mais favorável) no cenário de gabarito 11 (63° e 30%) do que no gabarito 9 (71° e 21%).

Além da tabela dos resultados de sDA_{edif} , os valores estão graficamente representados no diagrama *Spacemate* da tipologia do bloco isolado no lote (APÊNDICE E) e dos quatro modelos de quadra (M1 e M2 – APÊNDICE F; M3 e M4 – APÊNDICE G).

A ligação dos pontos que representam os cenários simulados gerou áreas correspondentes aos valores de sDA (parte A e B) e OSR (parte C). Os espaços em cinza, ilustrados no diagrama da tipologia do bloco isolado no lote, encontram-se dentro do limite estipulado dessas áreas e, por isso, foram incluídas nos resultados. Entretanto, o mesmo não ocorre nas áreas brancas, pois não é possível presumir os resultados de desempenho, por se encontrarem nos espaços de mudanças entre faixas de sDA, consideradas áreas de transição (Figura 69).

Figura 69 – Partes A e B (cenários e gabaritos) e Parte C (OSR) do bloco isolado no lote



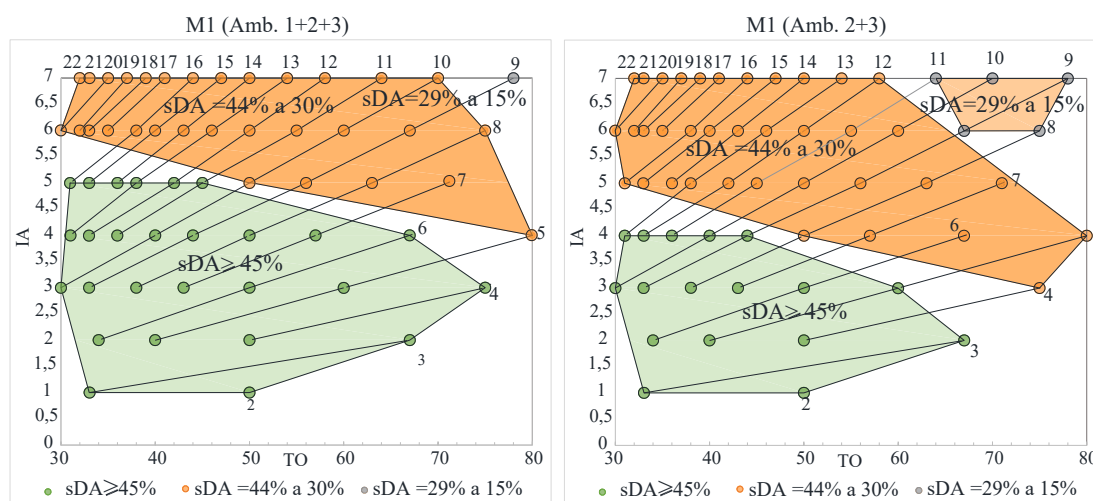
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

De acordo com os resultados de sDA_{edif} computados, os valores do índice de aproveitamento igual a 1, 2 e 3 (até gabarito 4) obtiveram resultados de desempenho satisfatório. A partir dos gabaritos de 16, 10, 7, 5, 4 e 2, das taxas de ocupação de 30%, 40%, 50%, 60%, 70% e 80%, os valores de desempenho de sDA_{edif} não foram garantidos, indicando que estas configurações devem ser evitadas, pois os ambientes encontram-se tão obstruídos que não propiciam a luz natural adequada no interior dos ambientes.

Ressalta-se que, nos resultados de sDA_{edif} , os ambientes 1, voltados para o sistema viário, não foram incluídos, pois a pesquisa visa analisar as condições mais restritivas. Para justificar a importância dessa condição, foi realizada uma única análise no M1, a fim de comprovar a diferença nos resultados de desempenho. Quando considerado o ambiente 1, os cenários com resultados de $sDA \geq 45\%$, aumentam 17%.

No M1, observa-se no diagrama *Spacemate* do M1 (Figura 70) que a combinação dos resultados satisfatórios de desempenho variou na taxa de ocupação de 30% a 67%, e nos valores máximos de índice de aproveitamento e gabarito iguais a 4 e 13, respectivamente. Acima de taxa de ocupação igual a 67% e gabarito 13, não foram computados valores de desempenho satisfatório.

Figura 70 – $sDA_{edif\ 1+2+3}$ e $sDA_{edif\ 2+3}$, da Parte A, B e D do Spacemate para M1



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

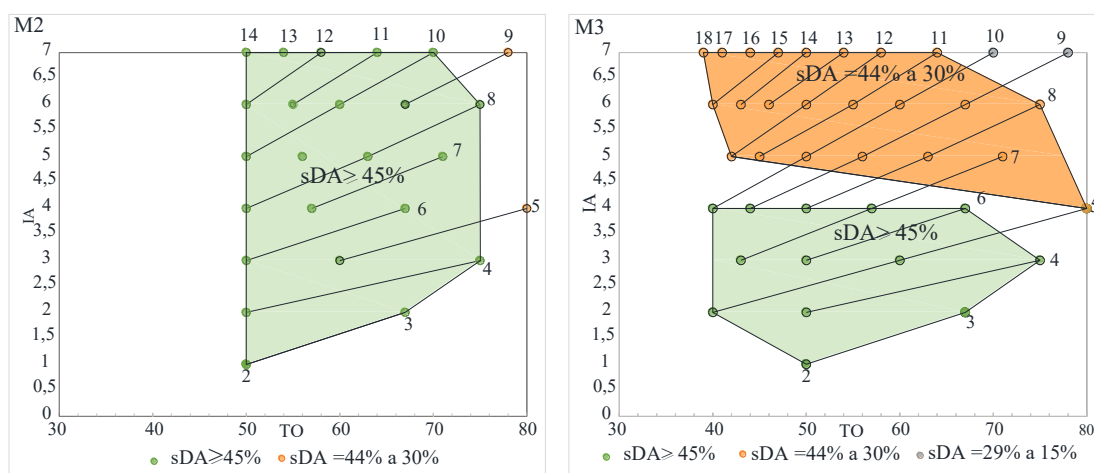
Uma comparação foi realizada entre os cenários de gabarito 9 (TO=50%, sDA_{edif} =44%, OSR=0,1) e os de gabarito 8 (TO=44% e sDA_{edif} =46%, OSR=0,1) do índice de aproveitamento igual a 4 e constatou-se que, no intervalo da taxa de ocupação de 44% a 50%, encontra-se a área de transição, o que não permite identificar os resultados de desempenho. Entretanto, do gabarito 9 ao 13, o desempenho está garantido, enquanto que nos gabaritos 8 ao 5, valores computados foram de $sDA_{edif} < 45\%$.

Os resultados de sDA_{edif} do M2 e M3 estão apresentados na Figura 71. No M2, não foi criado cenário com taxa de ocupação menor que 50% e gabarito maior que 14, considerando as configurações arquitetônicas e urbanas estabelecidas na pesquisa. Como

uma alternativa para essa limitação, poderiam ser utilizadas, por exemplo, edificações de geometrias em formato de “L” e “C”. Com valores muito elevados de taxa de ocupação, os cenários de gabarito 5 (IA=4) e 9 (IA=7) foram os únicos cenários simulados que não obtiveram resultados de $sDA \geq 45\%$.

Para o M3, nos índices de aproveitamento iguais a 5, 6 e 7, nenhuma combinação urbana resultou em resultados positivos. As combinações urbanas significativas foram encontradas na taxa de ocupação entre 40% e 75% e nos gabaritos até 10.

Figura 71 – Partes A e B do diagrama do M2 e do M3

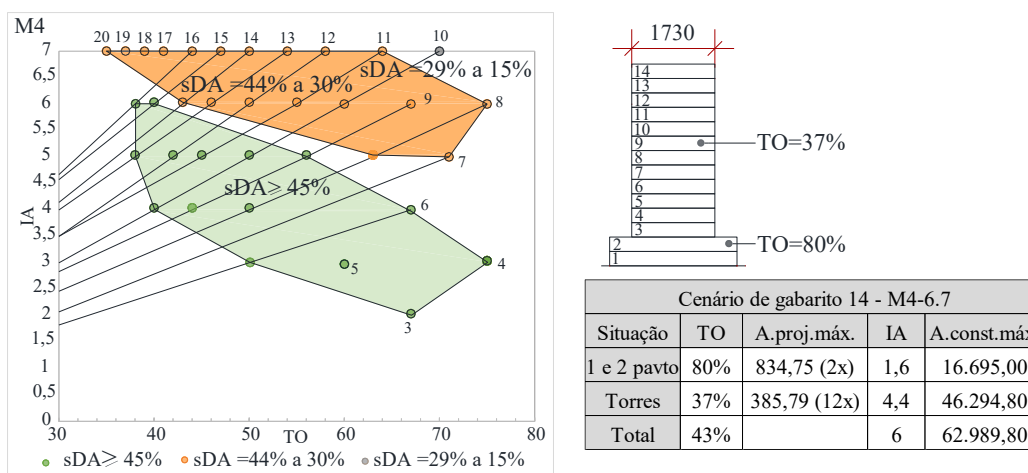


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Por fim, o M4 difere do M1 apenas pela TO=80% no pavimento 1 e 2 e menor TO nos pavimentos tipo, condição necessária para manter o mesmo valor do índice de aproveitamento dos demais cenários.

No primeiro gráfico, os pontos inseridos são referentes aos valores da taxa de ocupação, índice de aproveitamento e gabarito dos pavimentos tipo. No cenário de gabarito 14, TO=43% e IA=6, por exemplo, os valores considerando somente os pavimentos tipo são índice de aproveitamento igual a 4,4, taxa de ocupação igual a 37% e gabarito 12 (Figura 72).

Figura 72 – Partes A, B e D do diagrama do M4



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No segundo gráfico, os valores introduzidos incluem o 1º e o 2º pavimento. Quando for para comparar um cenário do M4 com outras tipologias de mesma configuração urbana, este deve ser o gráfico utilizado, pois representa somente os pavimentos analisados na pesquisa.

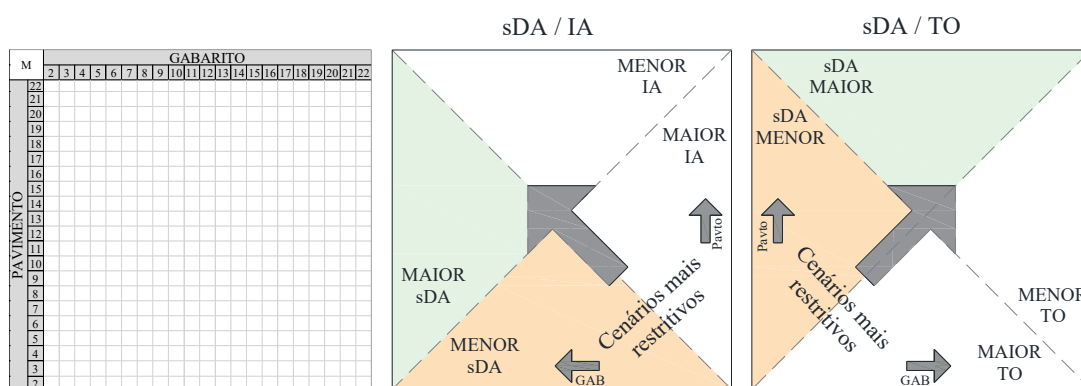
4.1.1.2 Autonomia Espacial da Luz Natural dos pavimentos – sDA_{pavto}

Para uma análise mais detalhada, os resultados de desempenho foram realizados para todos os pavimentos da edificação – sDA_{pavto} , sendo referentes ao somatório dos valores dos ambientes obstruídos de cada pavimento.

Os resultados de sDA_{pavto} da tipologia do bloco isolado encontram-se no APÊNDICE H; os da tipologia do M1, no APÊNDICE I do M2, no APÊNDICE J; do M3, no APÊNDICE K, e os do M4, no APÊNDICE L.

Na tipologia de bloco isolado no lote (cenários de mesma taxa de ocupação), a leitura dos valores de sDA_{pavto} é realizada na diagonal, no sentido do canto inferior direito (situação mais restritiva – maior índice de aproveitamento), em direção ao canto superior esquerdo, e nas tipologias das quadras (cenários de mesmo índice de aproveitamento), no sentido do canto inferior esquerdo – situações mais restritivas – maior taxa de ocupação) em direção ao canto superior direito (Figura 73).

Figura 73 – Partes A, B e D do diagrama do M4



Tipologia de bloco isolado no lote Tipologia dos modelos de quadra

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A diferença entre os estudos está na tipologia do bloco isolado no lote, cuja taxa de ocupação não se altera, quando o gabarito e o índice de aproveitamento aumentam, e na tipologia das quadras são os índices que se mantêm inalterados, quando o gabarito aumenta e a TO diminuiu.

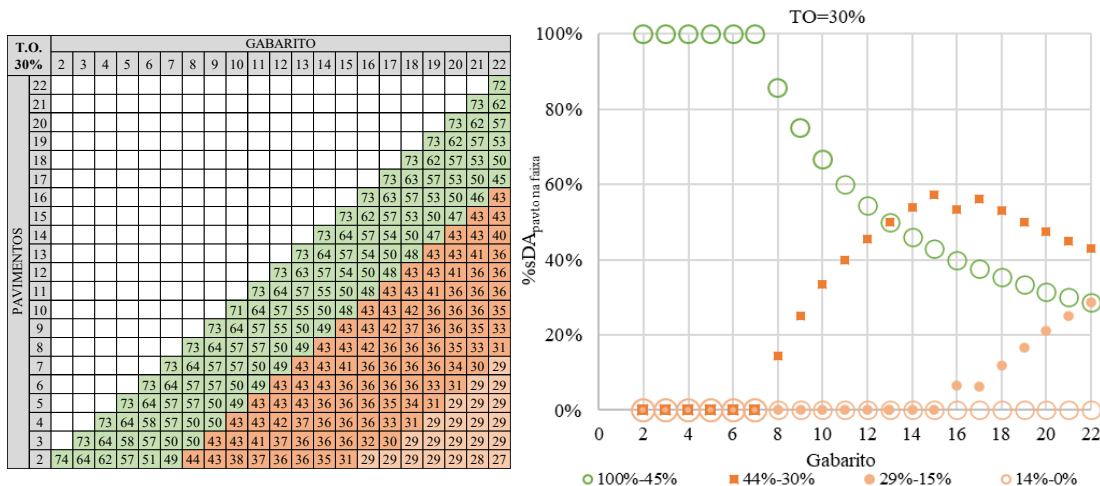
Assim, na tipologia de bloco isolado no lote, num mesmo pavimento, constatou-se que os resultados mais significativos encontram-se nos pavimentos mais altos, dos cenários de menor gabarito, sendo computada uma média de $sDA_{pavto} \geq 45\%$, de 48% na taxa de 30%, 33% na TO=40%, 22% na TO=50%, 18% na TO=60% e apenas 9% nas taxas de 70% e 80%.

A partir da TO=50%, pelo aumento da obstrução do entorno, começaram a ser computados valores de desempenho menores que 15%. Todos os pavimentos da edificação de análise alcançaram resultados satisfatórios até o gabarito 7, 5, 4, 3, 2 e 2, nas respectivas taxas de ocupação analisadas na pesquisa.

Os resultados de desempenho das diferentes taxas de ocupação foram categorizados de acordo com as faixas de valores de sDA, com o intuito de identificar os cenários que obtiveram pelo menos 50% dos pavimentos atendidos.

Na taxa de ocupação igual a 30%, os cenários de gabarito 2 a 7 obtiveram todos os pavimentos com resultados satisfatórios, computando 100% na faixa de $sDA \geq 45\%$. A partir do gabarito 8, os resultados de $sDA \geq 45\%$ decrescem continuamente e, por consequência, os valores de $sDA=44\%$ a 30% aumentaram. No gabarito 13, a porcentagem de pavimentos na faixa de $sDA \geq 45\%$ e $sDA=44\%$ a 30% é exatamente a mesma, sendo assim, dentre os cenários que alcançaram pelo menos 50% dos pavimentos atendidos, foi também o que obteve maior área construtiva. Os valores de desempenho na faixa de $sDA=29\%$ a 15% , são exibidos a partir do gabarito 16 (Figura 74).

Figura 74 – sDA_{pavto} da tipologia de bloco isolado no lote da $TO=30\%$



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

As porcentagens médias nas faixas de sDA representam a porcentagem de cenários dentro de cada faixa, ou seja, dos 21 cenários (sDA_{edif}) simulados na $TO=30\%$, por exemplo, 72% dos cenários simulados obtiveram resultado de $sDA \geq 45\%$, e nenhum cenário foi computado na faixa de $sDA < 15\%$.

Quanto maiores os valores de $sDA \geq 45\%$ e menores os valores de $sDA < 15\%$, mais significativos foram os desempenhos dos pavimentos para as taxas de ocupação analisadas na pesquisa.

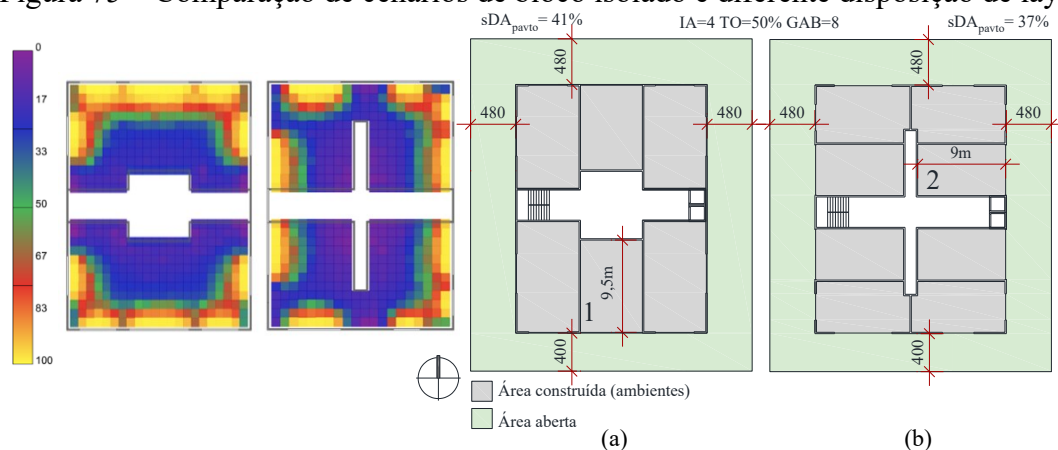
Os regulamentos urbanos estabelecem valores limites para os afastamentos entre as edificações, numa relação inversamente proporcional ao gabarito. Na legislação do município de Florianópolis, os afastamentos laterais e fundos devem ser no mínimo 1/5 da altura da edificação, considerando valor mínimo de 3 metros.

Entretanto, nas taxas de ocupação de 30% e 40%, mesmo não se alterando os afastamentos de acordo com o aumento do gabarito nos cenários criados, os resultados foram garantidos em todos os pavimentos até os cenários de 7 e 5, respectivamente. Quando considerados pelo menos 50%, os valores alcançaram até os gabaritos 13 e 9. No desempenho da edificação, os valores obtidos foram garantidos até o 16 e o 10. Nestas situações, constata-se que os resultados satisfatórios foram alcançados mesmo com afastamentos menores do que os exigidos pelo regulamento de Florianópolis.

Nos cenários de gabaritos mais elevados, nas taxas de ocupação de 60% a 80%, os pavimentos já estão tão obstruídos que, mesmo com a diminuição do gabarito e o aumento do pavimento, os valores de desempenho ficaram inalterados. Por outro lado, até o gabarito 5, na taxa de ocupação de 60%, e os gabaritos 2 e 3, nas taxas de ocupação de 70% e 80%, tiveram os pavimentos atendidos em pelo menos 50%. Quando considerado o desempenho da edificação, os resultados decresceram para 4, 2 e 2.

Foi realizado um estudo com duas alternativas de leiaute interno, sem considerar a obstrução entorno, que resultou em ambientes internos de largura e o comprimento diferenciados. A área de abertura foi definida igual a 1/6 da área do piso, em todos os ambientes, inclusive os voltados para a fachada frontal e lateral, que possuem duas aberturas (Figura 75).

Figura 75 – Comparação de cenários de bloco isolado e diferente disposição de layout

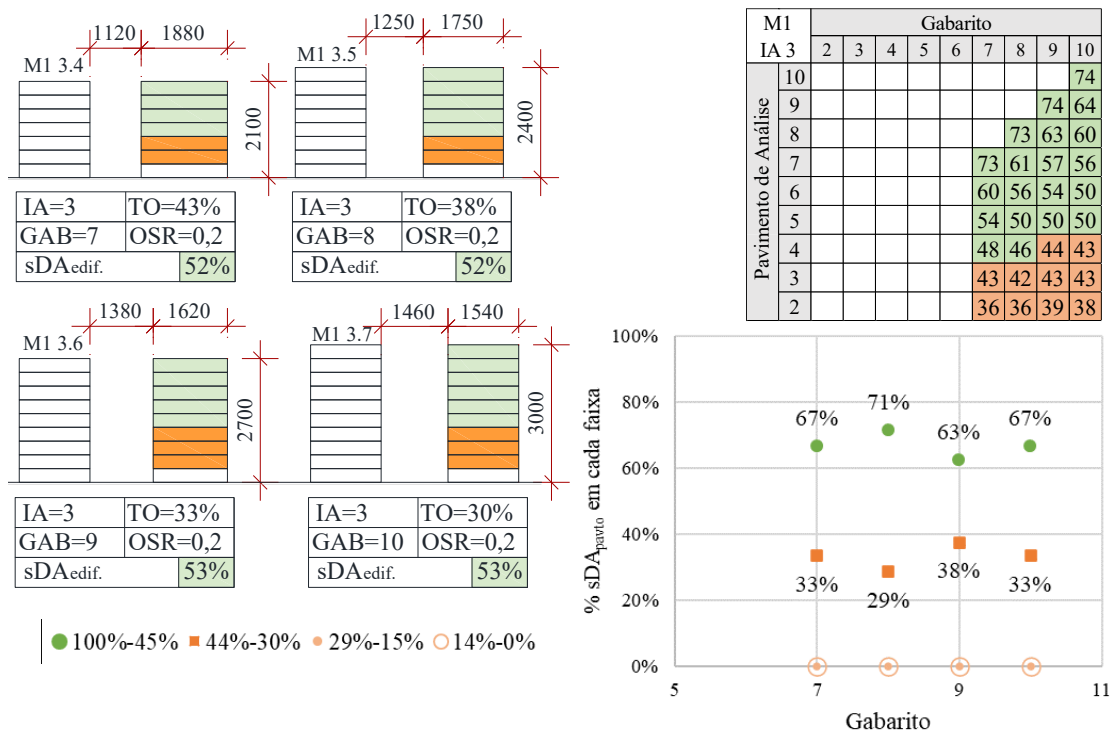


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

O cenário de gabarito 8 (IA=4 e TO=50%) foi escolhido aleatoriamente para a análise. Apesar de terem computados valores próximos de sDA_{pavto} , o cenário A, com mesma área de projeção, permitiu melhor aproveitamento da circulação interna, e assim, maior área útil construída. Não possui ambientes unicamente voltados para as laterais, e os ambientes voltados para o sistema viário (1) são que os que possuem maior profundidade. No Cenário B, os ambientes laterais (2) são os de maior profundidade e quando inserido o entorno urbano imediato são os que apresentam maiores obstruções provenientes das obstruções laterais. Apesar de possuírem a mesma área de projeção, e valor de sDA_{pavto} similar, o comportamento da disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes difere-se, o que influencia no desempenho individual dos ambientes.

Em relação às tipologias de quadra, um estudo foi realizado no M1 (IA=3), comparando os gabaritos 7 ao 10, que obtiveram valores de sDA da edificação similares (Figura 76). O cenário de maior porcentagem na faixa de $sDA \geq 45\%$ foi o de gabarito 8, ou seja, dos 7 pavimentos, 5 pavimentos (71%) obtiveram resultados satisfatórios (2 encontram-se na faixa de $sDA=44\%$ a 30% - o que representa 29% dos cenários dentro desta faixa). Entretanto, foram computados valores muito próximos, observando-se a vantagem de 1 pavimento atendido para o gabarito 10.

Figura 76 – Estudo de tipologias iguais com mesmo sDA_{edif} e área construída

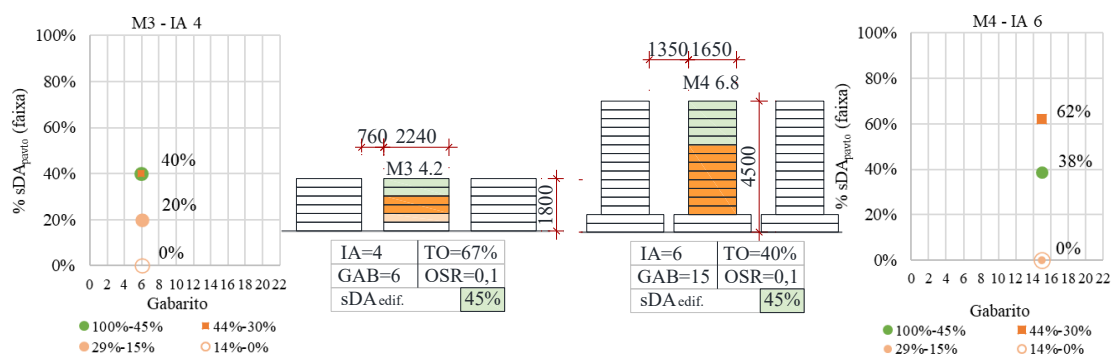


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Outro exemplo comparativo foi realizado entre cenários de diferentes tipologias, mas que apresentaram o mesmo valor de $sDA_{edif}=45\%$: o cenário de gabarito 6 (IA=4, TO=67%), no M3 e o cenário de gabarito 15 (IA=6, TO=40%), no M4 (Figura 77).

A categorização nas faixas de valores de sDA_{pavto} mostra que a porcentagem obtida na faixa de $sDA \geq 45\%$ foi similar, com valores aproximados de 40%. Entretanto, no $sDA=44\%$ a 30%, a porcentagem mais alta foi computada para o gabarito 15 (62%), identificando-se resultados mais significativos para este cenário, que apresentou o maior gabarito, a menor taxa de ocupação e a maior área construída.

Figura 77 – Estudo de diferentes tipologias com mesmos valores de sDA_{edif} e IA

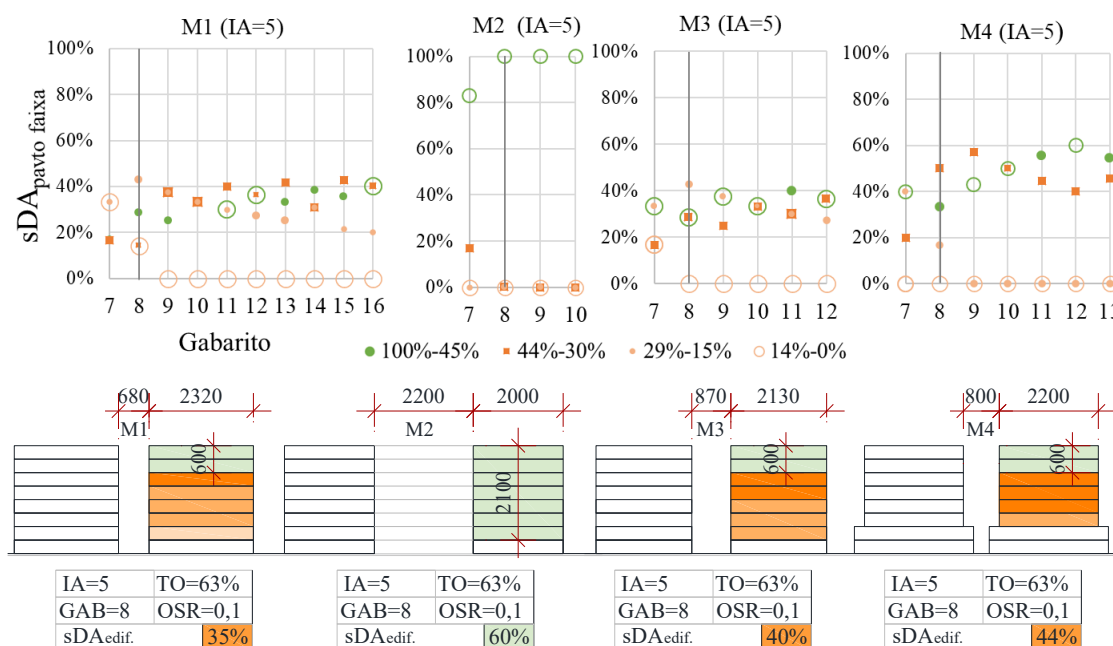


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A última análise dos valores de sDA_{pavto} foi realizada entre os cenários das quatro tipologias arquitetônicas de índice de aproveitamento igual a 5 (Figura 78). No M1, M2, M3 e M4, os cenários criados foram do gabarito 7 até o gabarito 16, 10, 12 e 13, sendo o 16, 10, 11 e 12, os considerados mais significativos, respectivamente.

Considerando o cenário de gabarito 8, na faixa de $sDA \geq 45\%$, o M1 e o M3 obtiveram os mesmos resultados de 29%, e no M4, porcentagem igual a 33%; sendo assim, o M2 com 100% do pavimentos atendidos foi o considerado mais significativo, seguido de M4, M3 e M1.

Figura 78 – Categorização do IA 5 das quadras e análise do gabarito 8



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

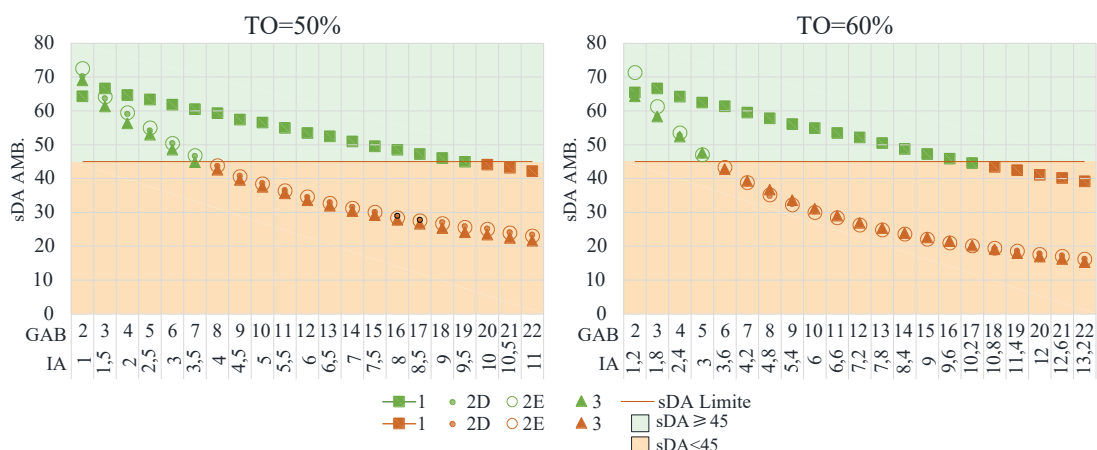
Os resultados de $sDA_{edif} = 44\%$, 40% e 35% , para M4, M3 e M1, também confirmam a ordem de desempenho da luz natural no interior dos ambientes. O M1 foi o único modelo que registrou valor de desempenho de $sDA_{edif} < 15$. No M2, o valor de $sDA_{edif} = 60\%$ computou quase o dobro do resultado do M1, alcançando 71% .

4.1.1.3 Autonomia Espacial da Luz Natural dos ambientes – sDA_{amb}

Os valores de sDA_{amb} são referentes à média de desempenho do ambiente, considerando todos os pavimentos da edificação de análise. Foram classificados em ambientes 1 (voltados para o sistema viário (orientação sul), ambientes 2E (lateral – oeste), ambientes 2D (lateral – leste), ambientes 3 (fundos – norte) e ambientes 4 (voltados para o pátio interno – presentes nas quatro orientações). Os resultados dos valores de sDA_{amb} da tipologia do bloco isolado no lote encontram-se no APÊNDICE M e os das tipologias de quadra, no APÊNDICE N.

Na tipologia de bloco isolado no lote, mesmo nos ambientes 1, voltados para o sistema viário e considerando a largura da via de 17 metros, os resultados não foram considerados satisfatórios anos gabaritos 20 a 22 e 18 ao 22, nas taxas de ocupação de 50% e 60%, respectivamente (Figura 79).

Figura 79 – sDA_{amb} da tipologia de bloco no lote das TO=50% e 60%

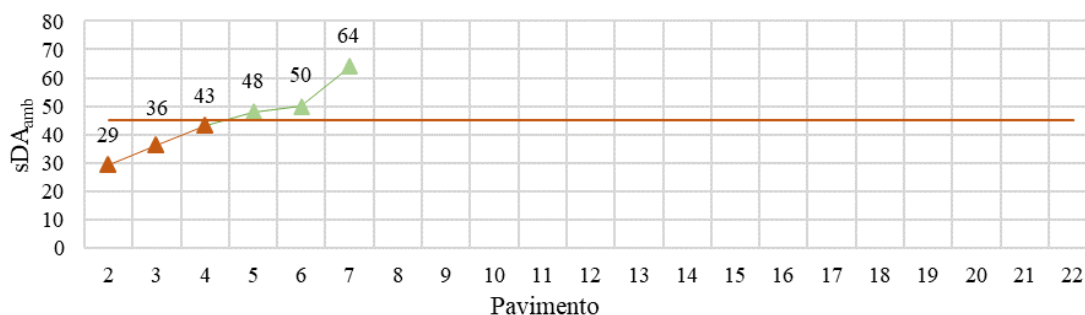


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Em relação aos ambientes 2E e 2D, a diferença percentual não foi significativa, mesmo em diferentes orientações solares (leste e oeste). Nas taxas de ocupação de 30% e 40%, os valores dos ambientes 3 foram mais restritivos que os dos ambientes 2, mas com o aumento da taxa de ocupação, essa diferença diminuiu, até alcançar resultados equivalentes nas taxas mais elevadas.

Cita-se o cenário de gabarito 7, da taxa de ocupação igual a 50%, por exemplo, cujo valor de $sDA_{amb\ 3}$ foi exatamente igual a 45%. Conforme mostra a Figura 80, essa média não significa que todos os pavimentos obtiveram resultados satisfatórios.

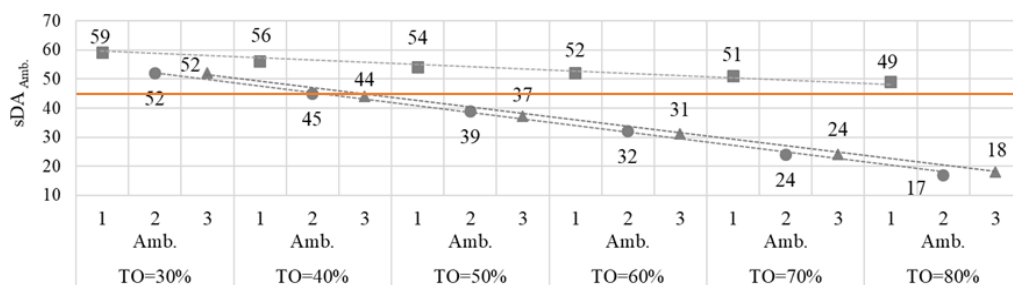
Figura 80 – Análise do $sDA_{amb\ 3}$ do cenário de gabarito 7 da TO=50%



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

As médias dos valores de sDA_{amb} , considerando todos os cenários de cada taxa de ocupação analisada, estão apresentadas na Figura 81. Os ambientes 1 apresentaram os resultados mais significativos em relação aos ambientes 2 e 3, especialmente nas taxas de ocupação mais altas, como as de 70% e 80%, condição em que esses ambientes se encontram mais obstruídos. Em relação aos ambientes 2 e 3, quando consideradas as médias, observam-se resultados similares em todas as taxas de ocupação.

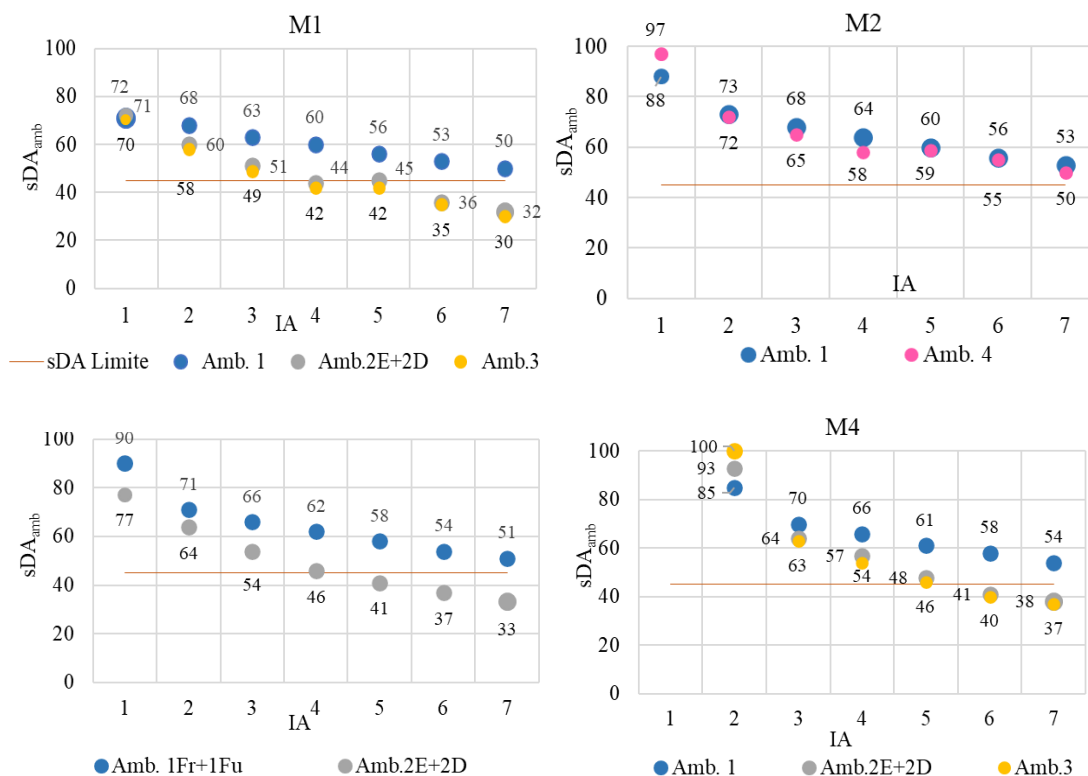
Figura 81 – sDA_{amb} dos cenários da tipologia de bloco no lote para as TO analisadas



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Nas tipologias de quadras, as médias dos resultados estão apresentadas na Figura 82. No M3, foi computada vantagem nos ambientes 1Fr (65% – sul) em relação aos ambientes 1Fu (61% – norte).

Figura 82 – sDA_{amb} das tipologias de quadra

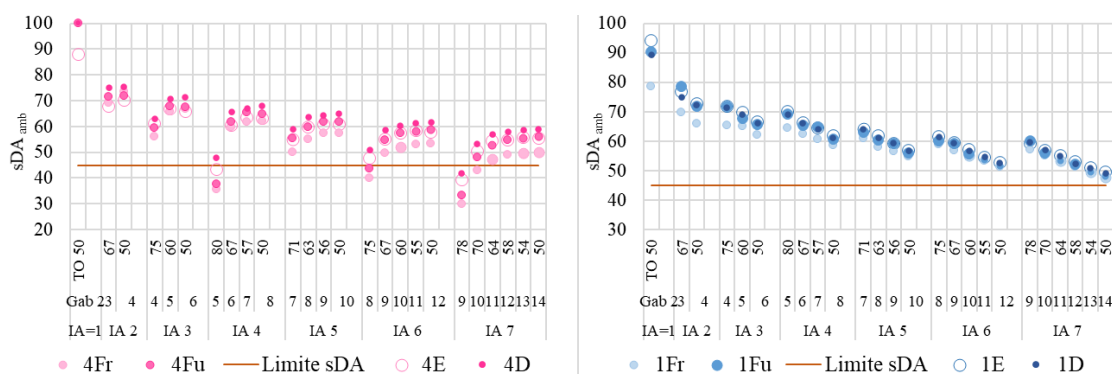


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Em relação aos ambientes 2E (oeste) e 2D (leste), as diferenças percentuais não foram consideradas significativas, sendo observada, em alguns casos, a mesma percentagem entre os dois ambientes. Por esse motivo, o desempenho dos ambientes 2 foi considerado sobre a média entre os valores de 2E e 2D. Os ambientes 3, no M1 e M4, obtiveram resultados muito similares aos ambientes 2.

A tipologia de ocupação perimetral – M2 apresenta ambientes voltados para o pátio interno. A Figura 83 mostra as análises dos ambientes 1 (voltados para o sistema viário) e 4 (pátio interno). O ambiente que obteve resultado mais significativo foi o 1E (63%), seguido dos ambientes 1Fu e 1D (ambos com 62%) e o ambiente 1Fr (59%). Nos ambientes mais obstruídos, de cenários de maior IA, a diferença percentual entre os ambientes diminui.

Figura 83 – sDA_{amb} 1 e sDA_{amb} 4 do M2



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

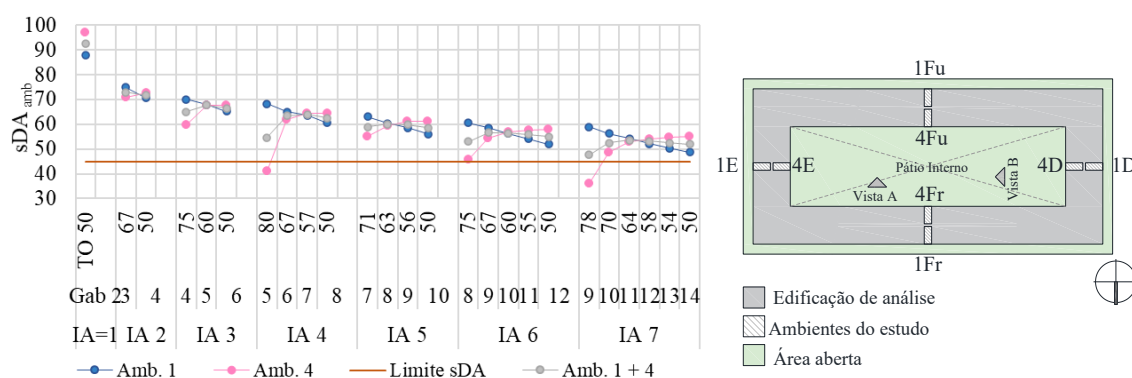
Nos ambientes 4, os resultados mais significativos foram nos ambientes 4D (63%), seguidos dos ambientes 4E e 4Fu (59%) e por fim, o ambiente 4Fr (norte) com a percentagem de 56%, mais restritiva em relação aos demais ambientes.

Na mesma orientação solar, a sul, os ambientes 1Fr e 4Fu computaram mesmo valor médio de $sDA=59\%$. Os ambientes 1Fu (62%) (norte) e 4Fr (56%) (norte) foram os que obtiveram maiores diferenças percentuais. Os ambientes 1E (63%) e 1D (62%), em orientações opostas (leste e oeste), obtiveram valores similares, e nos ambientes 1Fr (59%) (sul) e 1Fu (62%) (norte), a diferença foi de 3%.

A Figura 84 relaciona os valores médios dos ambientes 1 e dos ambientes 4. No IA 1, os ambientes 4 obtiveram resultados mais significativos, pois mesmo sendo considerados obstruídos, voltados para o pátio interno, alcançaram afastamentos maiores que dos ambientes 1. Por volta da $TO=60\%$ no IA 3 ($sDA_{amb}=68\%$), 4 ($sDA_{amb}=64\%$) e 5 ($sDA_{amb}=60\%$), os resultados médios obtidos nos ambientes 1, 4 e 1+4 foram exatamente iguais (IA 3, 4 e 5) e nos demais IA foi computada uma diferença percentual de até 2%. Nos IA 4, 6 e 7 foram computados resultados de $sDA_{amb}<45\%$, para todos os cenários que computaram $TO>75\%$.

Os cenários com $TO<60\%$ aproximadamente, obtiveram os resultados de sDA_{amb} 4 mais significativos, enquanto ao contrário, na $TO>60\%$, os valores mais elevados foram computados para sDA_{amb} 1. Assim, quanto menor a área de projeção e maior o gabarito, maiores serão os afastamentos no pátio interno, resultando em melhor desempenho para os ambientes 4.

Figura 84 – sDA_{amb} 1 e sDA_{amb} 4 do M2

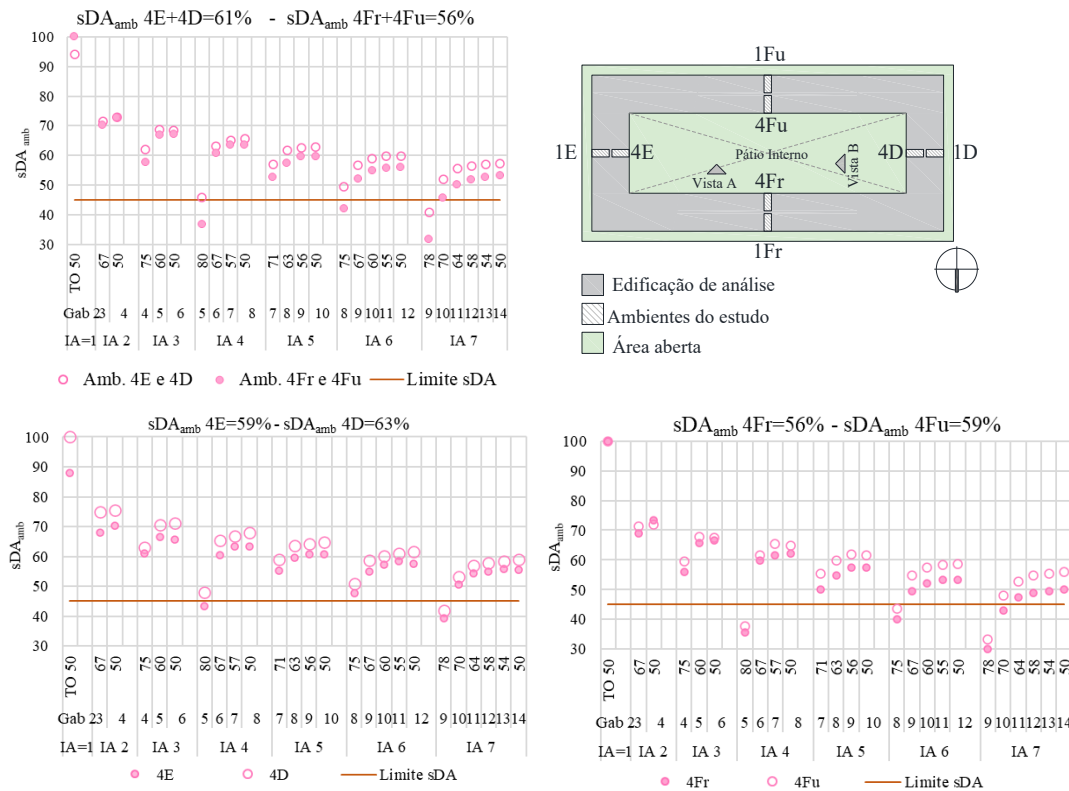


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Quando considerados os ambientes 1 e 4 conjuntamente, os resultados computados obtiveram valores intermediários de quando analisados individualmente, resultando em todos os valores de sDA satisfatórios. Os ambientes 1 e 4 estão presentes nas quatro orientações. Visto o considerável afastamento entre os ambientes voltados para o pátio interno, os laterais (4E e 4D) e os ambientes frente e fundos (4Fr e 4Fu), a Figura 85a analisa os ambientes 4, onde os valores mais elevados foram computados para 4E e 4F (61%), em relação aos ambientes 4Fr e 4Fu (56%), como o esperado, em razão dos maiores afastamentos decorrentes da geometria da quadra. Entretanto, os resultados não são tão significativamente diferentes, devido à obstrução da própria edificação, sendo estes valores justificados com as análises da porcentagem de céu visível.

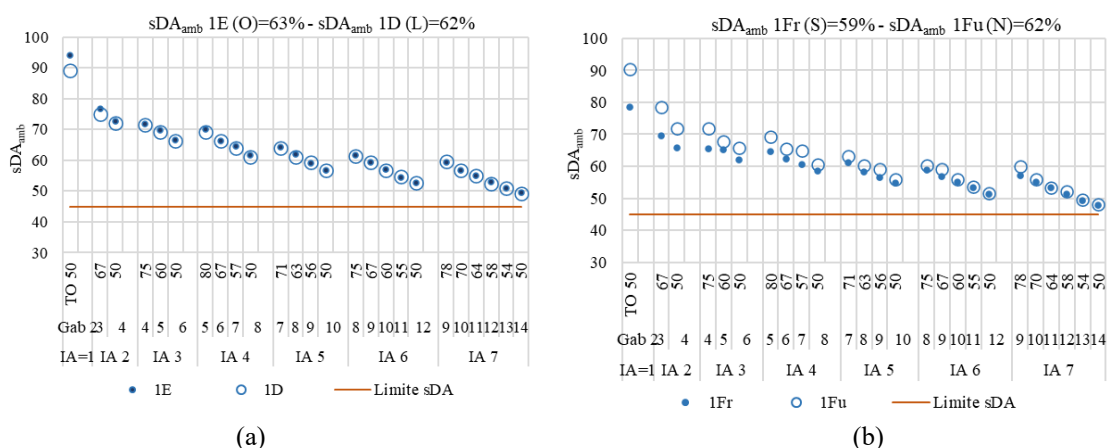
A Figura 85b e a Figura 85c mostram separadamente os ambientes 4E e 4D e os ambientes 4Fr e 4Fu. Os resultados encontrados foram superiores para os ambientes 4D=63% (oeste) e 4Fu (sul)=59% do que para 4E=59% (leste) e 4Fr=56% (norte).

Figura 85 – Análise de sDA_{amb} 4 do M2



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Os ambientes 1 do M2 também foram analisados separadamente, conforme mostra a Figura 86. Os ambientes 1E foram comparados com os 1D (Figura 86a), e os 1Fr com os 1Fu (Figura 86b).

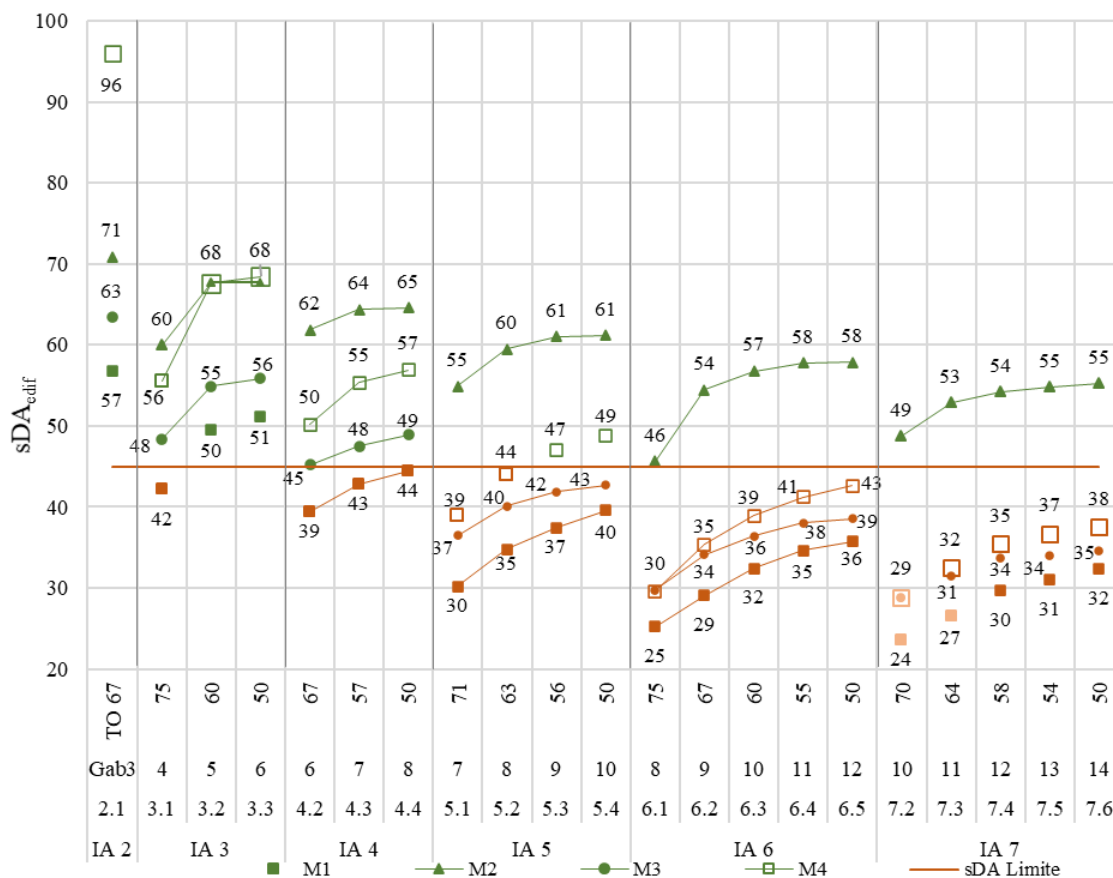
Figura 86 – Análise de sDA_{amb1} do M2

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Como resposta, os ambientes 1E (63%) (oeste), 1D (62%) (leste) e 1Fu (62%) (norte) obtiveram resultados mais elevados que o 1Fr (59%) (sul). Com diferença percentual de apenas 4%, observa-se que a orientação solar teve pouca influência no desempenho da luz natural dos ambientes internos analisados.

4.1.2 Desempenho da luz natural nos cenários comuns das tipologias de quadras

Dos 59 cenários possíveis, 21 foram criados nas quatro tipologias de quadra. Não foi criado nenhum cenário comum no IA 1. A Figura 87 mostra, para IA 2 e 3, cenários de resultados satisfatórios, com exceção do cenário 3.1, no M1. No IA 6 e 7, somente o M2 obteve valor de $sDA \geq 45\%$.

Figura 87 – sDA_{edif} (ambientes obstruídos) dos cenários comuns

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

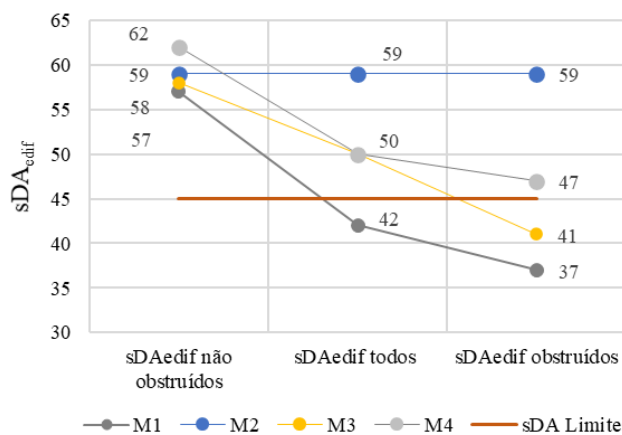
Os cenários 2.1, 4.2, 5.1, 6.1 e 7.2, de menor gabarito e maior TO em cada IA analisado, obtiveram os resultados mais restritivos de sDA_{edif} . No M2, nos cenários de mesmo valor de IA, em um determinado momento, mesmo aumentando o gabarito e diminuindo a TO, os valores de sDA_{edif} mantiveram-se constantes.

De maneira geral, o M2 obteve os resultados mais significativos em relação às demais tipologias, em todos os valores de IA analisados, enquanto que os valores do M1 foram os mais restritivos, seguidos do M4 e do M3.

O estudo dos ambientes obstruídos foi complementado com duas situações para comparação: uma análise dos ambientes não obstruídos (ambientes 1) e outra, considerando todos os ambientes (obstruídos e não obstruídos).

A Figura 88 mostra os valores obtidos nas três análises de sDA_{edif} . Todos os cenários comuns obtiveram valores de $sDA_{edif\ não\ obstruído} \geq 45\%$. No M2, o mesmo valor de $sDA_{edif} = 59\%$ foi computado em todas as situações, o que significa que os elevados afastamentos das obstruções frontais dos ambientes voltados para o pátio interno foram considerados tão significativos quanto nos ambientes voltados para o sistema viário.

Figura 88 – sDA_{edif} obstruído, sDA_{edif} não obstruído e sDA_{edif} todos



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Na análise de sDA_{edif} considerando todos os ambientes, computou-se o mesmo resultado de 50% para M3 e M4. Nas outras duas análises, os valores de M4 foram superiores aos de M3. Entretanto, quando todos os ambientes foram considerados na análise, observou-se que o M3 possui duas fachadas voltadas para o sistema viário, o que fez com que os valores de M3 fossem melhores em relação a M4, igualando-se nessa situação.

No $sDA_{edif\ obst.}$, justificando o resultado mais restritivo para o M1, além dos ambientes 2 (laterais), também os ambientes 3 (fundos) foram computados como obstruídos, enquanto que o M3 não possui ambientes voltados para os fundos.

O M4 obteve melhor resultado do que as demais tipologias quando considerados os ambientes não obstruídos. Este modelo apresenta afastamentos similares às demais tipologias e, para explicar esse resultado, pode-se considerar o comportamento da luz refletida nas superfícies externas dos pavimentos 1 e 2.

Em relação ao sDA_{edif} dos ambientes obstruídos, situação mais restritiva e foco da pesquisa, observa-se aumento de 5%, 9%, 3% nos M1, M3 e M4, quando comparado com o sDA_{edif} considerando todos os ambientes, e 20%, 17% e 15%, quando analisados em relação aos ambientes não obstruídos.

4.1.3 Desempenho da luz natural variando os parâmetros arquitetônicos

Esta última parte das simulações da pesquisa apresentou os resultados de desempenho da luz natural (sDA_{edif}) no interior dos ambientes internos, inseridos nos mesmos cenários analisados na pesquisa, mas alterando-se as características arquitetônicas.

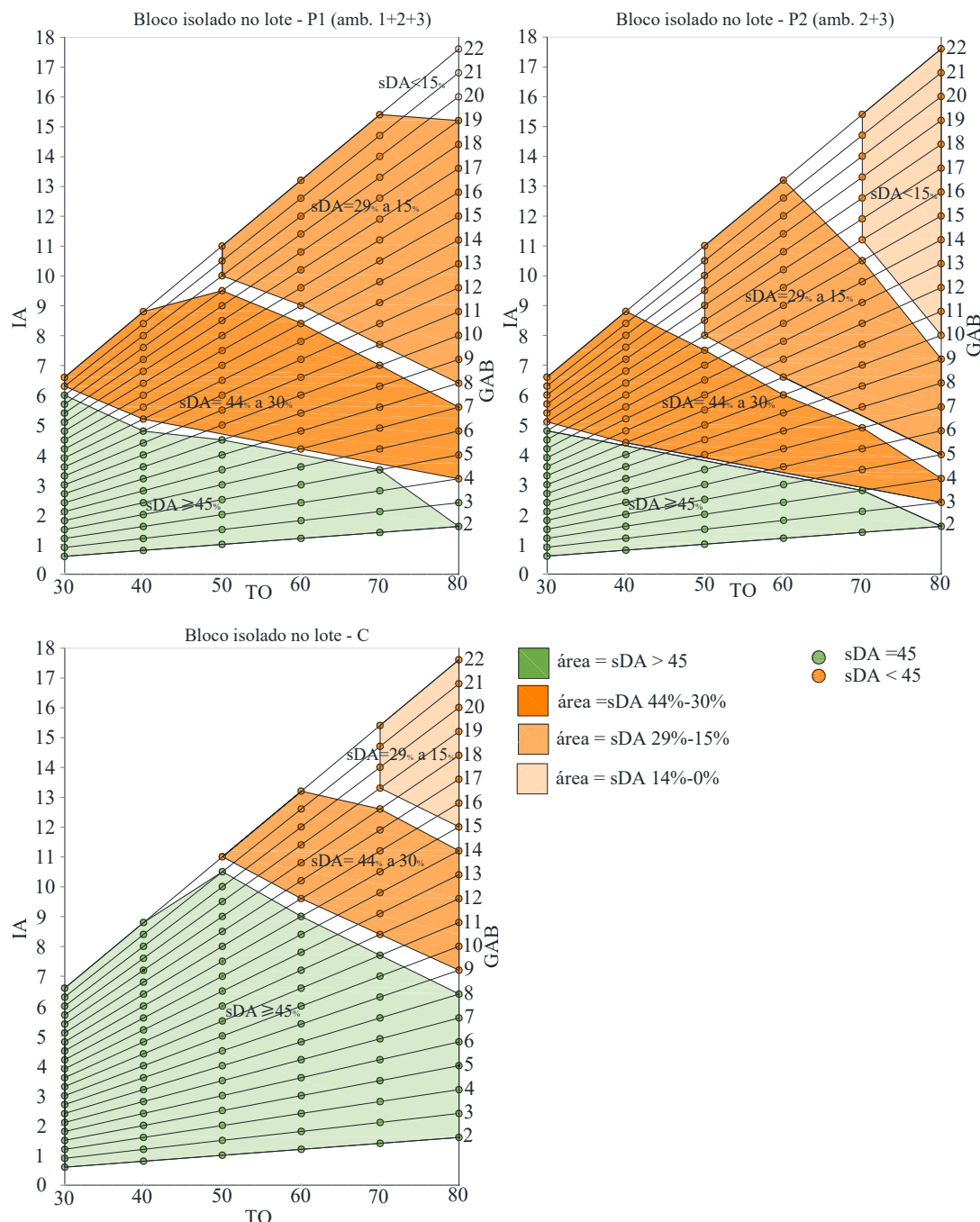
Para as comparações dos resultados, esta etapa incluiu os ambientes 1, e as análises das configurações padrão (profundidade do ambiente = 7 e área de abertura = $3,5m^2$) foram divididas em P1 (considerando todos os ambientes do estudo = 1+2+3+4) e P2 (somente os ambientes obstruídos = 2+3+4).

Em relação ao bloco isolado no lote, os resultados do caso C, que apresenta as características mais favoráveis (maior área de abertura: $5,25m^2$ e menor profundidade: 5m) em relação ao demais casos, foram comparados com os resultados de P1 e P2, conforme mostra a Figura 89.

A diferença média entre P1 ($sDA_{edif}=40\%$) e P2 ($sDA_{edif}=34\%$) foi de 6%. Com o aumento da TO, a diferença média percentual dos ambientes aumentou, ou seja, a diferença entre P1 e P2 na TO=30% foi de 2%; na TO=50% foi de 4%; na TO=80%, foi de 8%. Essa diferença de 6%, com a inclusão do ambiente 1, significa na TO=30% mais 4 cenários atendidos (16 para 20); na TO=40%, 2 gabaritos a mais (9 para 11); na TO=50%, 2 (6 para 8); na TO=60%, 1 (4 para 5); na TO=70%, 1 (3 para 4), e na TO=80%, 1 (1 para 2).

No P1, na TO=70%, nenhum cenário computou resultado de $sDA_{edif} < 15\%$ (o total de gabaritos no P2 era de 7) e na TO=80%, somente 3 gabaritos (no P2 eram 13). Ressalta-se que os cenários de gabaritos 2 ao 17, 2 ao 11, 2 ao 8, 2 ao 5 e 2 das TO=30% a 80%, respectivamente, já tinham obtido resultados satisfatórios na configuração padrão.

Figura 89 – Diagrama Spacemate Bloco isolado no lote – P1 e P2 e C



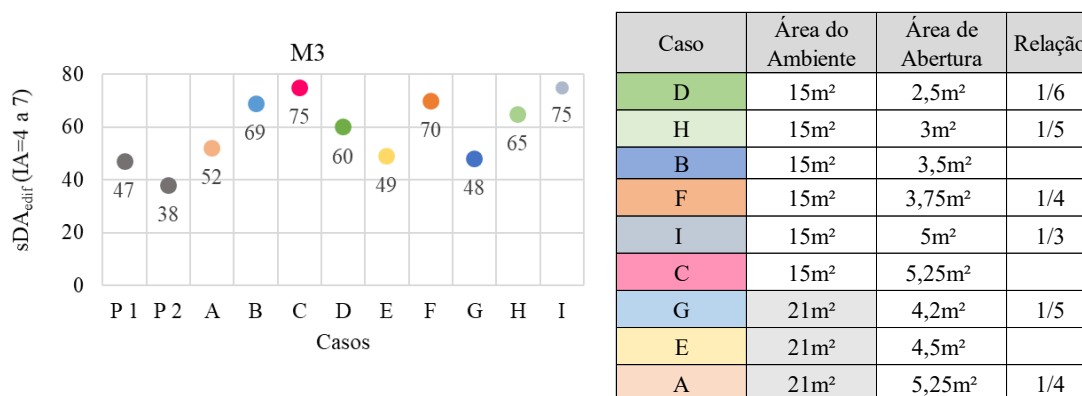
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A diferença média entre o P1 e o caso C foi de 15%. O aumento da área de abertura e a diminuição da profundidade dos ambientes melhoraram o desempenho da luz natural. Entretanto, em cenários já muito obstruídos, como, por exemplo, nos de gabarito acima de 21 na TO=50%, acima de 15 na TO=60%, acima de 11 na TO=70% e acima de 9 na TO=80%, nem a alteração da arquitetura foi suficiente para alcançar valores de $sDA_{\geq 45\%}$, identificando-se as configurações urbanas que devem ser evitadas para garantir desempenho satisfatório da luz natural no interior dos ambientes.

Em relação às diferentes tipologias de quadras analisadas na pesquisa, definiu-se o M3, de blocos laminares paralelos para a investigação dos nove casos de mudanças nas características arquitetônicas, identificando as combinações entre parâmetros urbanos e arquitetônicos que favorecem a luz natural no interior dos ambientes.

No M3, o valor da média de $sDA_{\text{edif}(1+2+3)}$ considerando IA=4, 5, 6 e 7, foi de 47%, e o $sDA_{\text{edif}(2E+2D)}$ foi de 38%. A *Figura 90* mostra os resultados médios dos valores de sDA_{edif} do M3 para todos os nove casos analisados. Como o IA do 1 ao 3 já havia obtido resultados satisfatórios na etapa anterior (padrão), não foram simulados novamente. Os resultados mais significativos foram encontrados para os casos C (profundidade=5m e área de abertura=30% a mais que o caso P) e I (profundidade=15 e área de abertura 1/3 da área do piso), o que resultou num aumento de desempenho em relação ao caso padrão de 28%, conforme mostram os valores das médias da *Figura 90*.

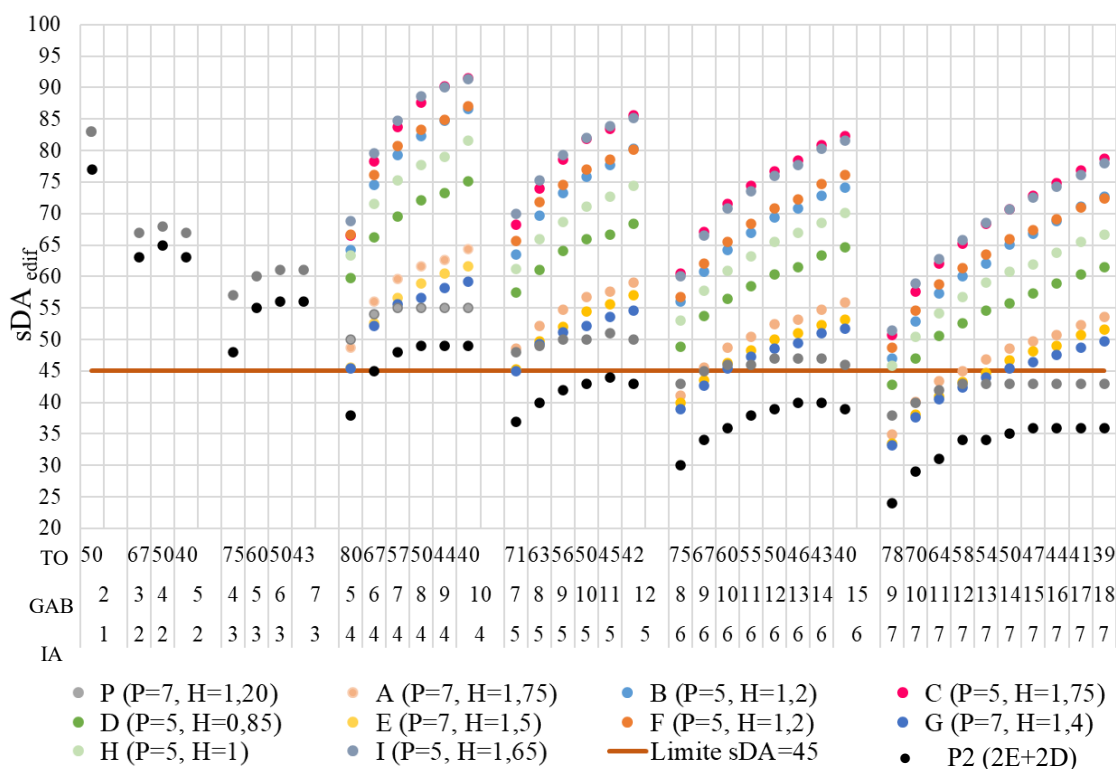
Figura 90 – Valores médios dos Casos A ao I do M3



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A *Figura 91* apresenta os resultados de sDA_{edif} dos cenários simulados, possibilitando identificar as configurações que, mesmo com as alterações arquitetônicas, não alcançaram $sDA_{\geq 45\%}$.

Figura 91 – Casos A ao I do M3

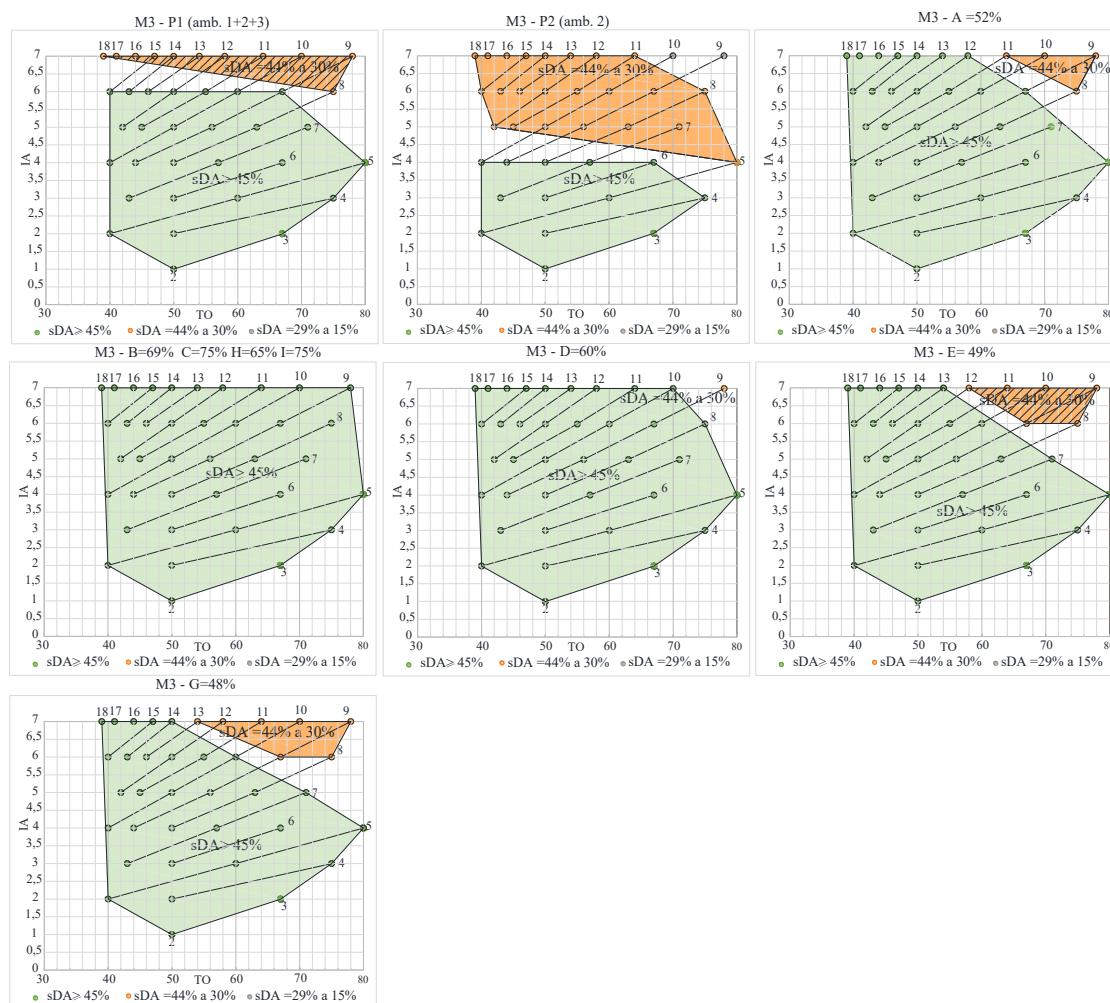


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A Figura 92 mostra os diagramas *Spacemate* dos nove casos analisados do M3. Nos casos B (69%), C (75%), H (65%) e I (75%), todos os resultados médios (sDA_{edif}) foram computados satisfatórios. Assim, a configuração de profundidade igual a 5 e 1/5 da área de abertura de $3m^2$ (caso H) já foi suficiente para garantir desempenho satisfatório ($sDA_{edif} \geq 45\%$). Os valores médios (sDA_{edif}) correspondem à média dos valores de sDA_{pavto} e, assim, mesmo que o sDA_{edif} compute valor satisfatório, pode não atender a todos os pavimentos.

Finalizando esta parte da pesquisa, cinco análises (estudos 1A, 1B, 2A, 2B e 3) foram realizadas comparando alguns dos casos simulados. O estudo 1A mostra os casos P1(1+2+3), P2 (2+3), A e G, com mesma profundidade de 7 metros ($21m^2$) e diferem apenas pela relação da área de piso, sendo considerados os valores de 1/6, 1/5 e 1/4. Os resultados médios foram iguais a $sDA_{edif} = 52\%$, 48% , 47% e 38% , correspondente a A, G, P1 e P2.

Figura 92- Diagrama Spacemate – Casos A ao I, do M3

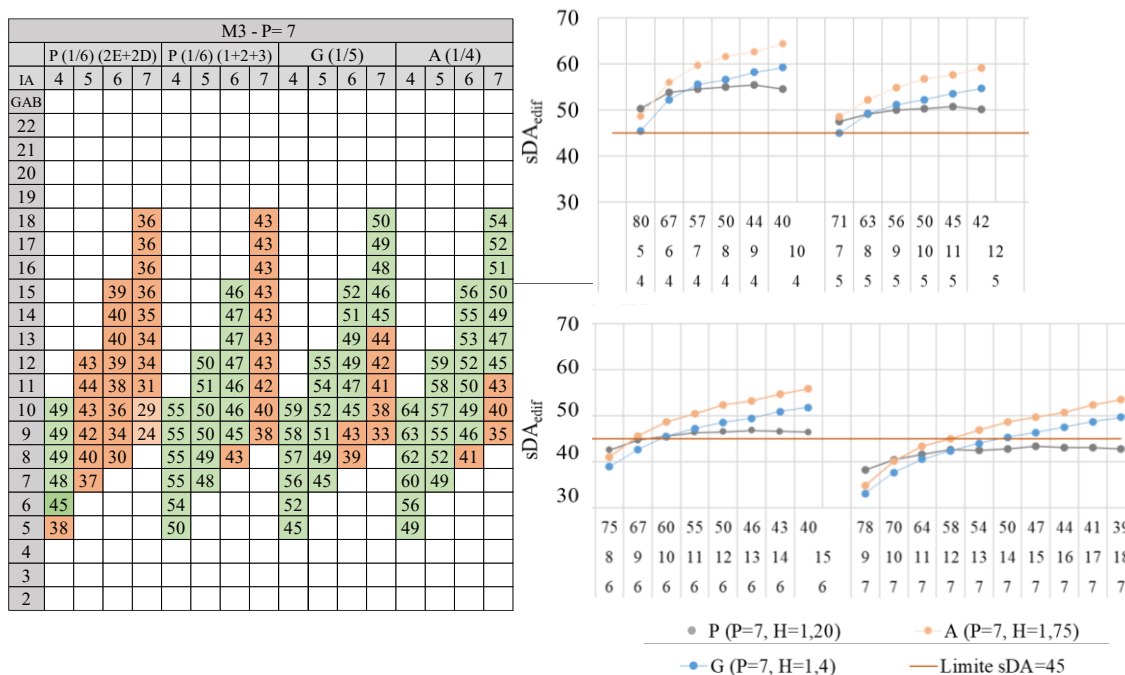


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A Figura 93 mostra a quantidade de cenários atendidos ($sDA \geq 45\%$) em cada IA analisado. O $sDA_{dif} = 45\%$ foi computado no gabarito 4 (IA=4) e no gabarito 5 (IA=5), do caso G.

No P1, no IA=6, somente o cenário de gabarito 8 (TO=75%) não obteve resultado satisfatório e, mesmo aumentando-se a área de abertura, não foi suficiente para alcançar $sDA \geq 45\%$. No IA 7, no P1, nenhum dos 10 cenários obteve resultado satisfatório. Quando se aumentou a área de piso em 1/5 (caso G) e 1/4 (caso A), 5 e 7 cenários, respectivamente, computaram-se valores de $sDA \geq 45\%$. Assim, é possível alcançar desempenho satisfatório, mesmo em cenários com IA= 6 e 7 (alta densidade), combinando os parâmetros urbanos e arquitetônicos.

Figura 93 – sDA_{edif} dos casos P, G e A – Estudo 1A



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Apesar de resultados médios similares de P1 (1/6 – 3,5m² de área de abertura) e G (1/5- 4,2m² de área de abertura), 4 cenários a mais foram computados como satisfatórios para o caso G. No IA=4 (TO=80%), IA=5 (TO=63%), IA=6 (TO=60%) e IA=7 (TO=58%), o caso G, mesmo com maior área de abertura do que P, obteve resultados de desempenho similares. Nestes casos, os cenários já se encontram tão obstruídos que o aumento da área de abertura não influencia nos resultados de desempenho. A diferença percentual dos resultados de desempenho entre a relação da área de abertura de 1/6 e 1/4 e 1/5 e 1/4 foi de 5%, conforme mostra a Tabela 9.

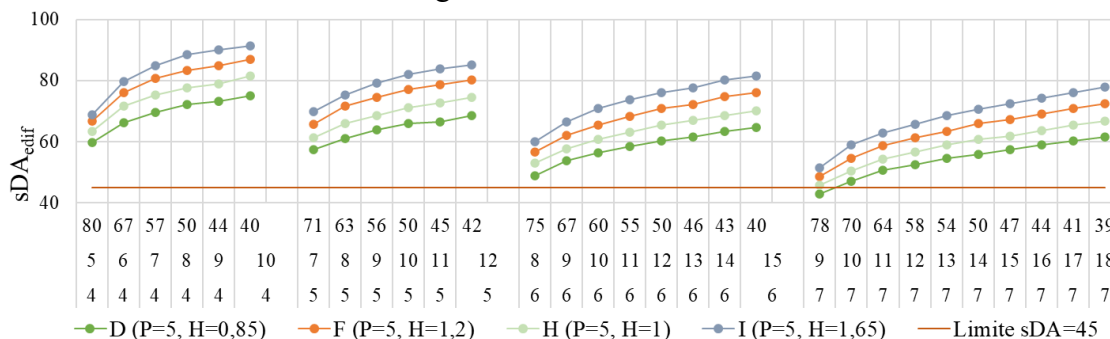
Tabela 9 – Estudo 1A

M3 Estudo 1A	Parâmetros	Relação	Casos	Área de piso	Prof.	sDAedif	A. Abertura	Diferença A.Abertura
Cenário Escolhido	IA=4 TO=40% Gab=10	P = H ≠	P → G	1/6 → 1/5	7	47% → 48%	3,5m ² → 4,2m ²	17%
			G → A	1/5 → 1/4		48% → 52%	4,2m ² → 5,25m ²	20%
			P → A	1/6 → 1/4		47% → 52%	3,5m ² → 5,25m ²	33%

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

O estudo 1B (Figura 94) mostra a relação entre os casos D, F, H e I, com mesma profundidade de 5 metros e área de abertura de 1/6 (D), 1/5 (H), 1/4 (F) e, também, 1/3 (I) da área do piso.

Figura 94 – Estudo 1B



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Todos os cenários obtiveram valores de $sDA_{edif} \geq 45\%$, com exceção do cenário de gabarito 9, do IA 7, no caso D (altura da abertura de 0,85cm), que obteve o valor de $sDA_{edif} = 43\%$. Entretanto, o aumento da altura para 1 m (caso H) já foi suficiente para obter resultados satisfatórios de desempenho ($sDA_{edif} = 46\%$).

Comparando os casos D (1/6), H (1/5), F (1/4) e I (1/3), os resultados obtidos foram 60%, 65%, 70%, 75%, uma diferença de 5%. A diferença percentual entre as relações 1/6 e 1/5, 1/6 e 1/4, 1/6 e 1/3 foi, respectivamente, de 5%, 10% e 15% (Tabela 10).

Tabela 10 – Estudo 1B do M3

M3 Estudo 1B	Parâmetros	Relação	Casos	Área de piso	Prof.	sDAedif	A. Abertura	Diferença A.Abertura
Cenário Escolhido	IA=7 TO=64% Gab=11	P = H ≠	D → H	1/6 → 1/5	5	60% → 65%	2,5m ² → 3m ²	17%
			D → F	1/6 → 1/4		60% → 70%	2,5m ² → 3,75m ²	33%
			D → I	1/6 → 1/3		60% → 75%	2,5m ² → 5m ²	50%
			H → F	1/5 → 1/4		65% → 70%	3m ² → 3,75m ²	20%
			F → I	1/4 → 1/3		70% → 75%	3,75m ² → 5m ²	25%

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

O estudo 2 comparou ambientes com mesma área de abertura e diferentes profundidades, entre os casos D-P (1/6), H-G (1/5) e F-A (1/4), conforme mostra a Tabela 11. Os três casos foram comparados tendo sido computadas diferenças percentuais de 13%, 17% e 18%.

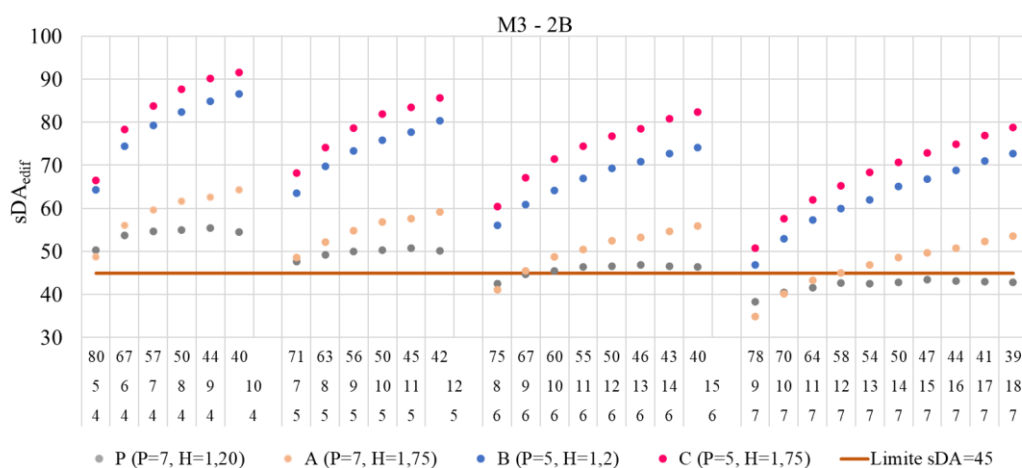
Tabela 11 – Estudo 2A do M3

M3 Estudo 2A	Parâmetros	Relação		Casos	Área de piso	Prof.	sDAedif	Área de Abertura	Diferença A.Abertura
Cenário Escolhido	IA=7 TO=50% Gab=14	P ≠	H =	D	1/6	5	60%	2,5m ²	29%
				P	1/6	7	47%	3,5m ²	
				H	1/5	5	65%	3m ²	29%
				G	1/5	7	48%	4,2m ²	
				F	1/4	5	70%	3,75m ²	29%
				A	1/4	7	52%	5,25m ²	

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

O estudo 2B, comparou casos com mesma área de abertura e diferentes profundidades, como é o caso C-A e B-P (Figura 95).

Figura 95 – Estudo 2B



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

As diferenças percentuais entre C-A e B-P foi de 23% e 22%, conforme mostra Tabela 12.

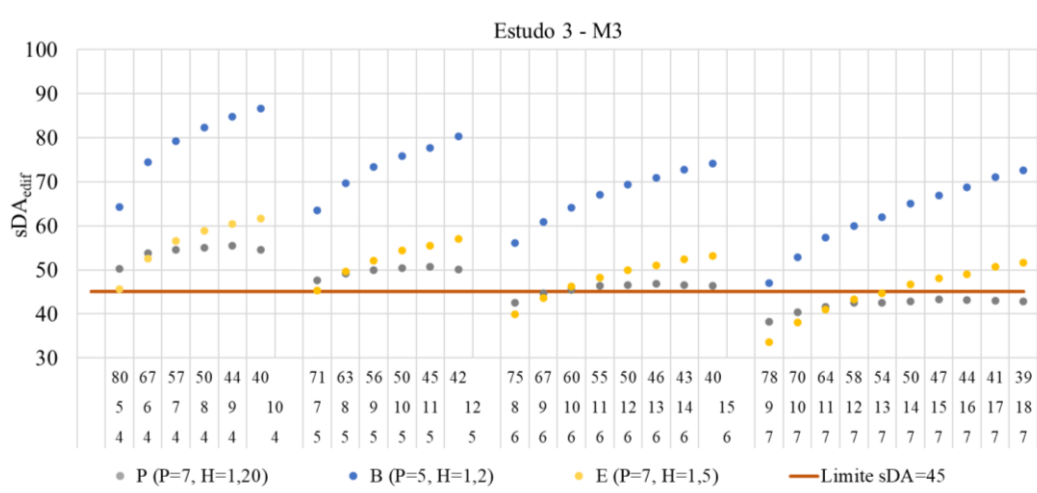
Tabela 12 – Estudo 2B do M3

M3 Estudo 2B	Parâmetros	Relação		Casos	Área de piso	Prof.	sDAedif	Área de Abertura	Diferença A.Abertura
Cenário Escolhido	IA=5 TO=72% Gab=7	P ≠	H =	C	s/relação	5	75%	5,25m ²	0%
				A	1/4 do P	7	52%	5,25m ²	
				B	s/relação	5	69%	3,5m ²	0%
				P	1/6	7	47%	3,5m ²	

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Por fim, o estudo 3 mostrou a relação dos cenários do caso padrão (P1) e comparou-os com os casos que apresentam área do ambiente menor que 30% (B) e área de abertura maior que 30% (E), conforme mostra a Figura 96.

Figura 96 – Estudo 3 do M3



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Como resposta, a Tabela 13 mostra diferença percentual entre B-P e E-P de 22% e 2%.

Tabela 13 – Estudo 3 do M3 – comparação entre casos

	Modelo	Área de Abertura	Área do Ambiente	sDA _{edif}	Situação
H =	B	3,5m ²	15m ²	69%	Área do ambiente menor que 30% do P
	P	3,5m ²	21m ²	47%	Caso Padrão
H ≠	E	4,5m ²	21m ²	49%	Área de abertura maior que 30% do P
	P	3,5m ²	21m ²	47%	Caso Padrão

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Os resultados dos estudos acima demonstram a influência mais significativa da profundidade do que da área da abertura, no desempenho da iluminação natural no interior dos ambientes.

4.2 ETAPA 2 – INFLUÊNCIA DO ÍNDICE DE ESPAÇO ABERTO NO DESEMPENHO DA LUZ NATURAL

4.2.1 Correlação entre parâmetros urbanos e OSR na tipologia de bloco isolado no lote

O índice de espaço aberto (OSR) relaciona o índice de aproveitamento (IA) e a taxa de ocupação (TO) e é calculado através da fórmula $OSR = 1 - [(TO/100)] / IA$. Se um determinado cenário obtiver os mesmos valores de IA e TO, num mesmo lote ou quadra, os valores OSR também serão iguais.

Esse parâmetro relaciona a área construída total à área de lote aberta (área do lote diminuída da área de projeção). Desse modo, quanto menores forem os valores de IA e TO, maior será computado o valor de OSR, resultando no aumento dos resultados de sDA. Na Tabela 14 estão os resultados calculados para OSR para a tipologia de bloco isolado no lote, variando entre 1,2 e 0,0, sendo o OSR=0,1 considerado o valor de transição. Isso indica que os cenários que obtiverem valor de OSR maior ou igual a 0,2 tiveram o desempenho da edificação garantido ($sDA \geq 45$). Não foram computados valores de OSR=0,0, nas taxas de 30% e 40%.

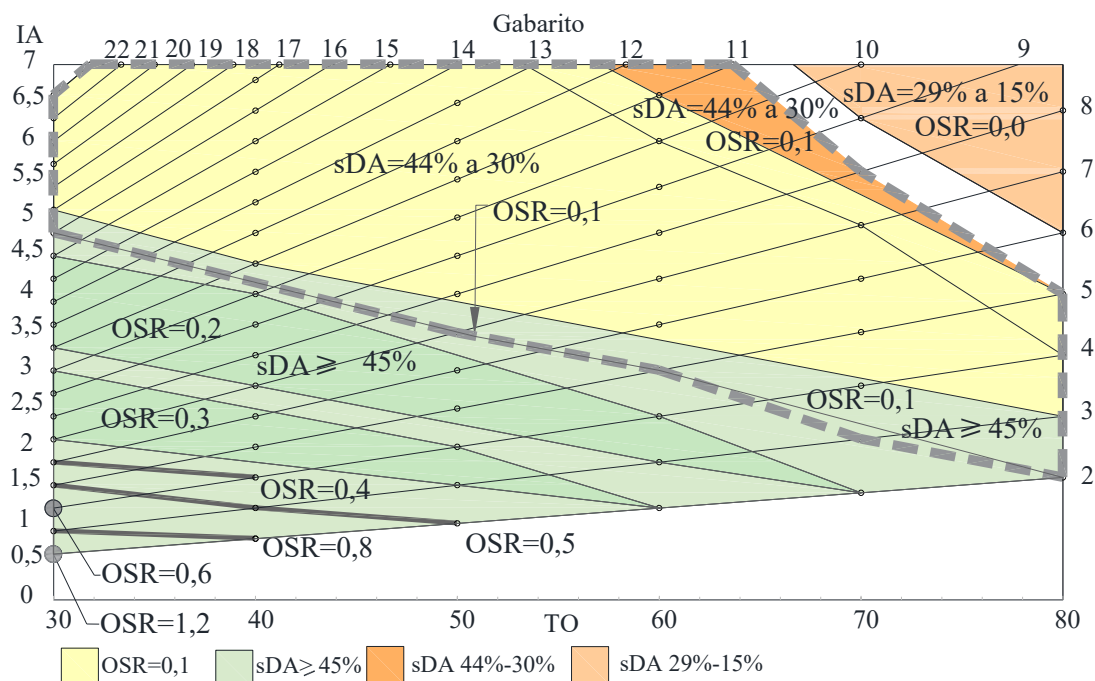
Tabela 14 – Valores de OSR da tipologia de bloco isolado no lote

OSR																					
TO	Gabarito																				
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
30%	1,2	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
40%	0,8	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
50%	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
60%	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
70%	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
80%	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Legenda	sDA \geq 45%			sDA<45%																	

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No diagrama estão representados os resultados de OSR=0,1 (área tracejada) correspondentes aos valores de $sDA \geq 45\%$ (verde) e $sDA = 44\%$ a 30% (laranja escuro), até o índice de aproveitamento 7 (Figura 97).

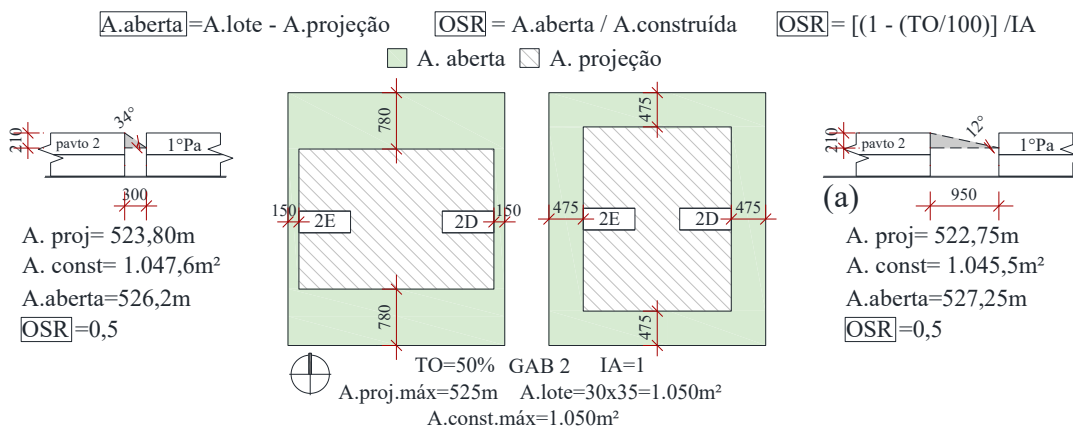
Figura 97 – Diagrama Spacemate: bloco isolado no lote



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Dois edificações da tipologia de bloco isolado no lote são comparadas na Figura 98, apresentando mesma área de projeção, gabarito e área construída e, como consequência, mesmos valores de OSR. O que as difere é a maneira como estão implantadas no lote, sendo a primeira alinhada de acordo com os afastamentos mínimos laterais (considerando a legislação de Florianópolis – 1,5m) e a outra centralizada em relação aos afastamentos das divisas (4,75m).

Figura 98 – Comparação de cenários com mesmos OSR e parâmetros

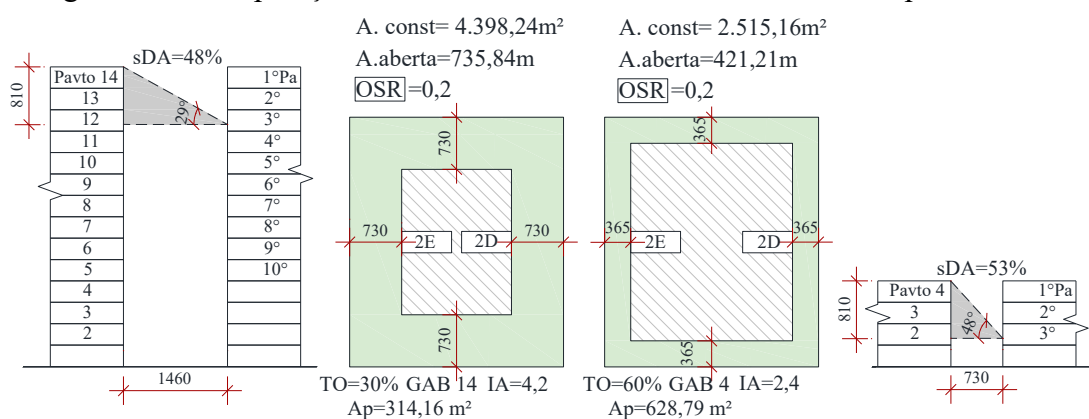


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Mesmo apresentando idênticos parâmetros urbanos, os diferentes afastamentos resultantes influenciam distintivamente no desempenho da luz natural no interior dos ambientes.

Outros cenários, que apresentam parâmetros urbanos diferentes, por sua vez, computaram valores de OSR também iguais. Nesse caso, para favorecer o desempenho e os valores de OSR, identificou-se que os valores de IA e o gabarito diminuirão e a TO aumentará (Figura 99).

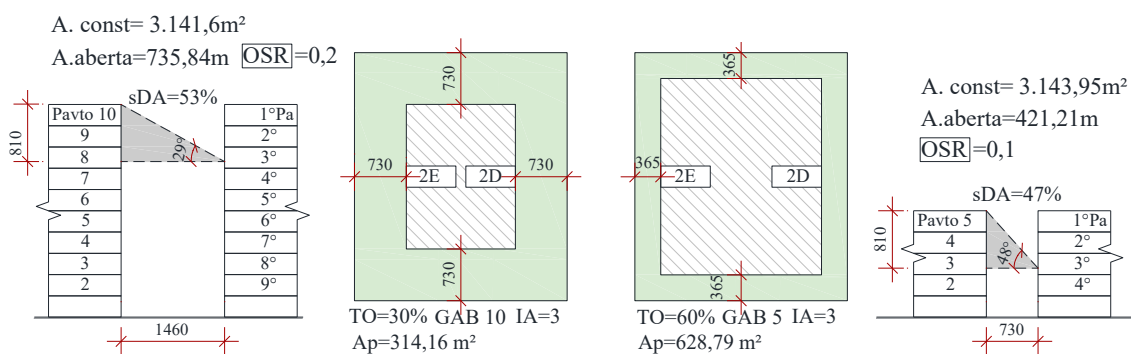
Figura 99 – Comparação de cenários com mesmo OSR e diferentes parâmetros



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Nos cenários que apresentam mesma área construída, os valores de OSR e sDA foram computados mais elevados para os cenários de menor TO e maior gabarito, conforme mostra a Figura 100. No mais restritivo, foram computados valores de $sDA_{edif}=47\%$ e $OSR=0,1$, enquanto que, no cenário mais significativo, os valores foram iguais a $sDA_{edif}=53\%$ e $OSR=0,2$.

Figura 100 – Comparação de cenários com diferentes OSR e mesmo IA



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No mesmo pavimento de análise, obteve-se uma diferença de 20°, identificando maior influência da TO, que deve diminuir, do que do gabarito, que deve aumentar, para favorecer os resultados de desempenho e OSR.

Outra condição identificada é o quanto a taxa de ocupação é igual. Citam-se os exemplos acima apresentados, dos cenários de taxa de ocupação igual a 30%. Comparando o gabarito de 14 e o de 10, observaram-se valores de OSR maiores, no cenário que teve o IA e o gabarito diminuídos. Nesse caso, quando a taxa de ocupação é igual, numa mesma tipologia arquitetônica e mesma área de lote, o índice de espaço aberto é igual para ambos os cenários.

4.2.2 Correlação entre parâmetros urbanos e OSR nas tipologias de quadra

Em relação aos valores de OSR das quatro tipologias de quadra, os resultados variaram entre 0,7 e 0,0, conforme mostra a Tabela 15. Os cenários de menor gabarito e menor índice de aproveitamento obtiveram os resultados mais significativos.

Os espaços em branco são referentes aos cenários que não foram gerados, pois não permitem as combinações de IA, TO e gabarito, considerando também os valores estabelecidos para a pesquisa.

No M4 (blocos isolados com pavimentos diferenciados), os valores de OSR desconsideraram os pavimentos 1 e 2 (TO diferenciada), o que resultou em valores de OSR maiores, nos cenários de gabarito 3 (IA=2), 5 (IA=3) e 8 (IA=4) do M4, comparados com M1, M2 e M3. O M1 foi a única tipologia que apresentou todos os gabaritos de 2 a 22.

Todos os cenários que computaram valor de OSR igual ou superior a 0,2 tiveram o desempenho da edificação garantido, como também ocorreu na tipologia de bloco isolado no lote. O menor valor de OSR igual a 0,0 (valor arredondado) foi obtido na faixa de TO=70% a 80%, no IA=7, nos gabaritos 9 (TO=78%) e 10 (TO=70%); no IA=6, no gabarito 8 (TO=75%), e também no IA=4, no gabarito 5 (TO=80%), com exceção do gabarito 10, do IA=7 (TO=70%), no M2, que obteve valor de $sDA_{edif}=46\%$. Esses

resultados confirmam que a combinação de taxas de ocupação elevadas e gabarito elevado não favorece o desempenho no interior dos ambientes.

Tabela 15 – OSR das tipologias de quadras

		OSR																					
		GAB	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
M1	IA 1	0,5	0,7																				
	2		0,2	0,3	0,3	0,3																	
	3			0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2													
	4				0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2									
	5							0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1					
	6								0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	7									0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
M2	IA 1	0,5																					
	2		0,2	0,3																			
	3			0,1	0,1	0,2																	
	4				0,1	0,1	0,1	0,1															
	5							0,1	0,1	0,1	0,1												
	6								0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1									
	7									0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1							
M3	IA 1	0,5																					
	2		0,2	0,3	0,3																		
	3			0,1	0,1	0,2	0,2																
	4				0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2													
	5							0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1										
	6								0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1					
	7									0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
M4 (tipo)	IA 1																						
	2		0,3																				
	3			0,1	0,2	0,2																	
	4					0,1	0,1	0,2	0,2	0,2													
	5						0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1										
	6							0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	7										0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Legenda

sDA \geq 45%

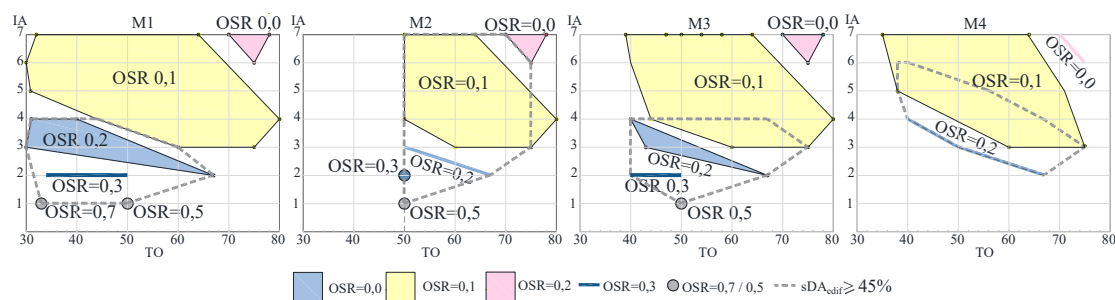
sDA<45%

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A Figura 101 mostra graficamente os resultados de OSR. Ressalta-se que, para uma mesma configuração urbana, os parâmetros urbanos e os valores de OSR são iguais em todos os modelos. As diferenças estão na quantidade de cenários que foram possíveis de criação e os resultados de desempenho, sendo os que computaram valores de sDA \geq 45% representados pela área pontilhada na cor cinza.

Observa-se que no OSR=0,1, tanto valores de sDA \geq 45% quanto de sDA<45% foram obtidos, considerado na pesquisa como valor de transição (cor amarela).

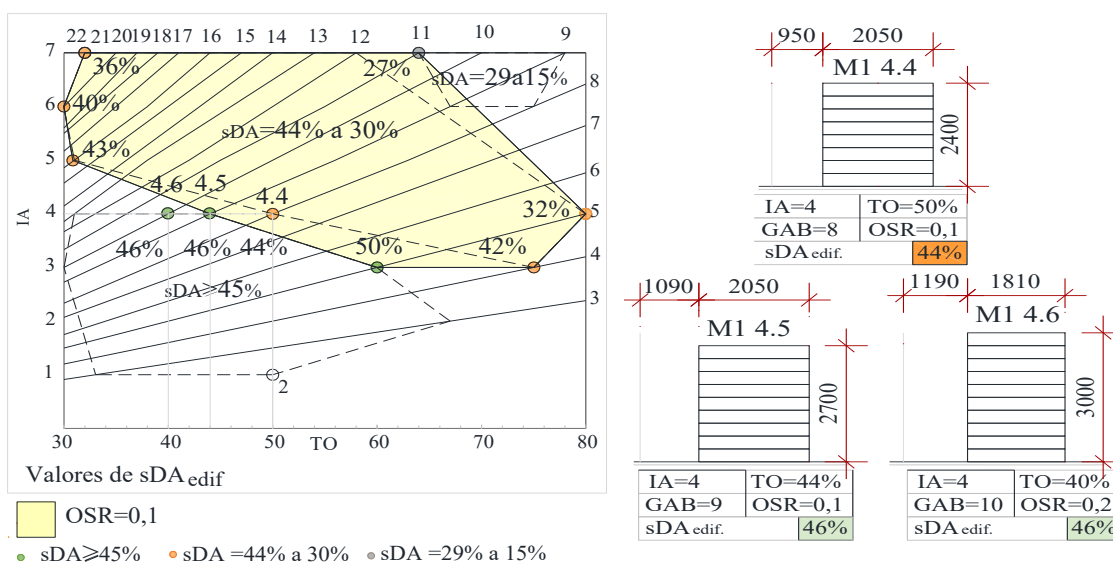
Figura 101 – Valores de OSR das tipologias das quadras



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No M1, o cenário de gabarito 8 (M1 4.4, IA=4 e TO=50%) e o cenário de gabarito 9 (M1 4.5, IA=4, TO=44%) computaram o mesmo valor de OSR, mas encontram-se em diferentes faixas de valores de sDA, conforme mostra a Figura 102. Confirma-se, assim, a relação que se estabelece quando o valor de IA mantém-se constante; se o gabarito aumentar e a taxa de ocupação diminuir, os valores de sDA e OSR serão melhores. Por outro lado, os cenários de gabarito 9 e 10 (IA=4, TO=40%) apresentam os mesmos valores de sDA_{edif}, mas diferentes valores de OSR.

Figura 102 – Comparação de cenários de diferentes OSR no M1



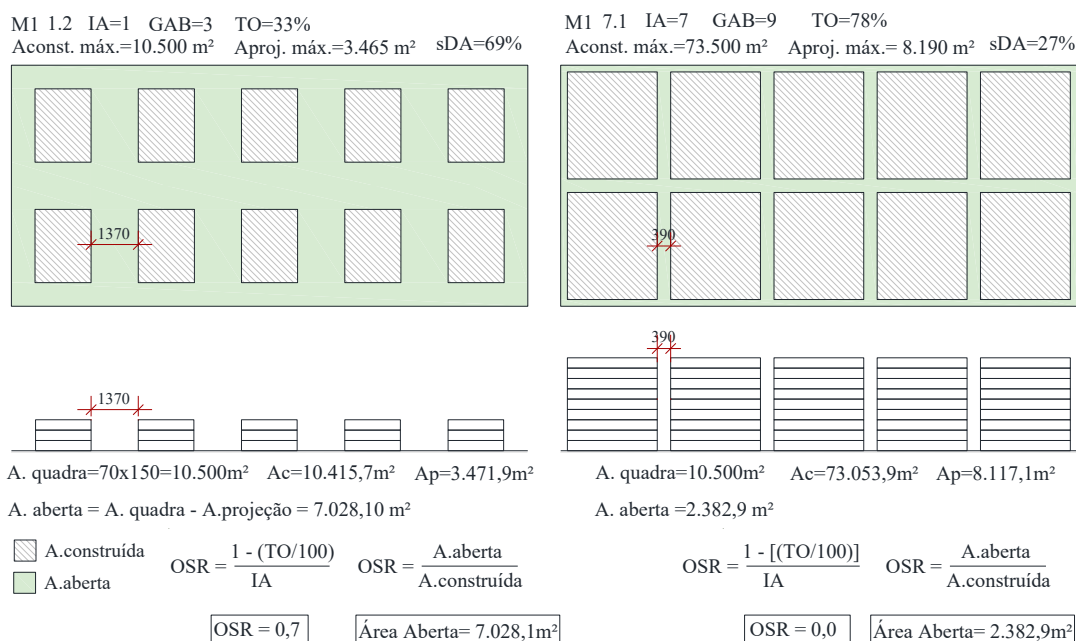
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Quando o gabarito é mantido constante, os valores de OSR e sDA aumentam, se a taxa de ocupação e o índice de aproveitamento diminuïrem, como pode ser

exemplificado entre os cenários de gabarito 5, na TO=80% (IA=4), que computou $sDA_{edif}=32\%$ e na TO=60% (IA=3), com $sDA_{edif}=50\%$.

A Figura 103 mostra o cenário que computou maior e menor valor de ORS no M1. No cenário M1 7.1, a largura e o comprimento das edificações foram computados iguais a 20,50m e 25,50m², respectivamente, valor acima dos 14 metros máximos estudados no referencial teórico, o que contribui para a diminuição da incidência de luz natural no interior dos ambientes.

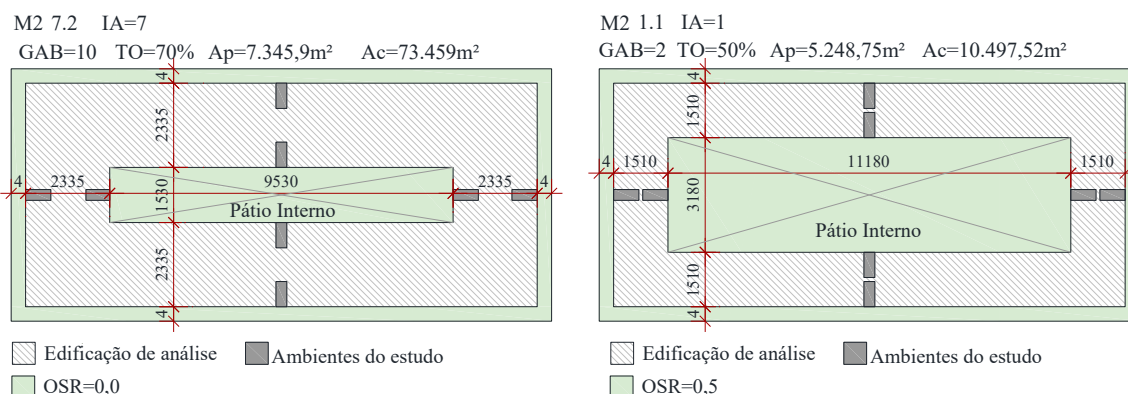
Figura 103 – Cálculo do OSR para diferentes cenários do M1



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A Figura 104, por sua vez, apresenta a planta baixa de cenários com diferentes valores de OSR do M2, exemplificado pelos cenários M.2 7.2 (OSR=0,0) e M2 1.1 (OSR=0,5). Se a taxa de ocupação for mantida fixa, com o aumento do gabarito, a área aberta (área da quadra – área de projeção) mantém-se constante, verificando que o ganho em verticalização não é devidamente compensado em quantidade de área aberta.

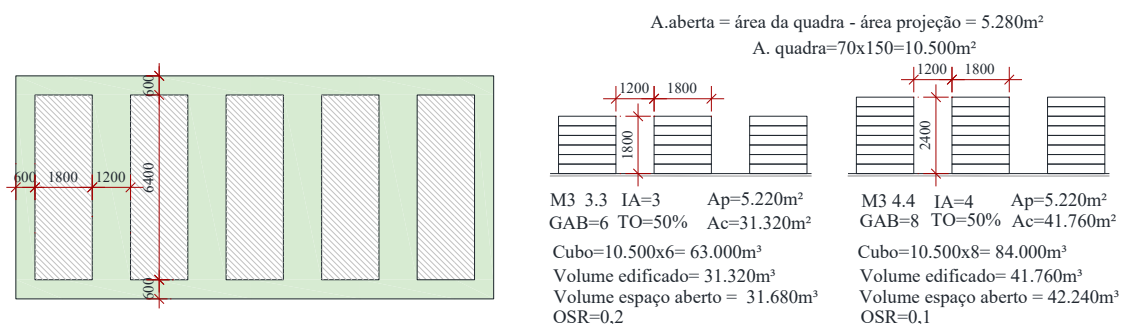
Figura 104 – Cálculo de OSR para diferentes cenários do M2



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Se analisada a quadra como um cubo e comparado numa mesma TO=50%, um cenário de gabarito 6, e no outro, de gabarito 8, quando desconsiderados os volumes das edificações, o volume dos espaços abertos resultantes é maior no gabarito 8, mas a área de projeção em ambos continuará a mesma (Figura 105).

Figura 105 – Cálculo de OSR para diferentes cenários do M3



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No estudo das quatro diferentes tipologias arquitetônicas, os cenários apresentam mesmos parâmetros urbanos e mesmos valores de OSR, assim como as áreas calculadas dos espaços abertos e construídos. Entretanto, a disposição (formato e continuidade) e os afastamentos entre edificações (cheios e vazios) são diferentes e influenciam fortemente na disponibilidade de luz natural, interferindo no desempenho da luz natural no interior dos ambientes.

Nesses casos, a comparação entre cenários foi realizada através do ângulo de obstrução e a porcentagem de céu visível, conforme mostra a etapa 3.

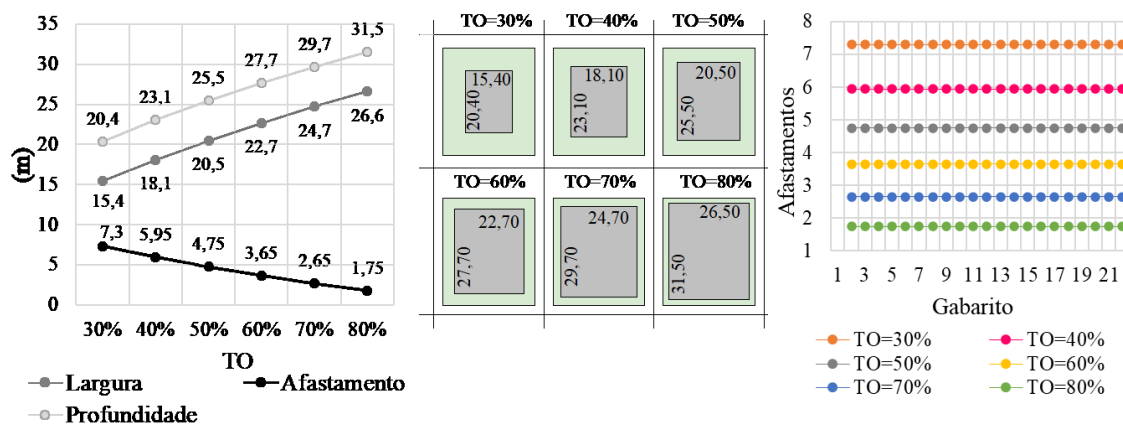
4.3 ETAPA 3 – ÂNGULO DE OBSTRUÇÃO VERTICAL E A PORCENTAGEM DE CÉU VISÍVEL

Quando o ângulo de obstrução diminui (menos obstrução – situação positiva), a porcentagem de céu visível aumenta (inversamente proporcional), resultando numa condição favorável para os resultados de desempenho (sDA). Os resultados de sDA foram correlacionados com os parâmetros urbanos (IA, TO e gabarito) e combinados com o ângulo de obstrução e a porcentagem de céu visível.

4.3.1 Ângulo de Obstrução

As variáveis que influenciam diretamente no ângulo de obstrução e na porcentagem de céu visível são a altura e o afastamento em relação às obstruções. No estudo da tipologia de bloco isolado no lote, mesmo com o aumento do gabarito, o afastamento entre as edificações permaneceu constante. Inversamente proporcional às dimensões da edificação, com o aumento da TO, a largura e a profundidade diminuíram, conforme mostra a Figura 106.

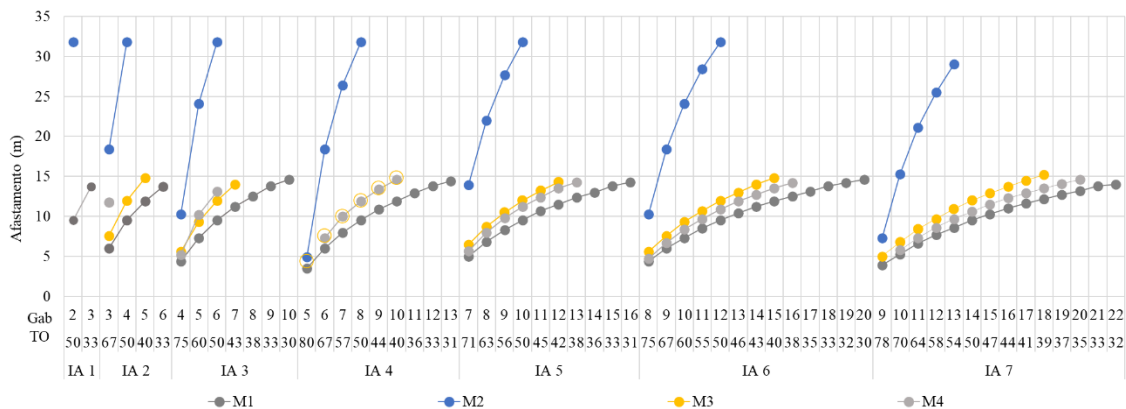
Figura 106 – Afastamentos, larg. e prof. da edificação do bloco isolado no lote



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No estudo das tipologias das quadras, para um mesmo índice de aproveitamento, os afastamentos entre as edificações simetricamente distanciadas entre si aumentam, quando a taxa de ocupação diminui e o gabarito aumenta, conforme mostra a Figura 107.

Figura 107 – Afastamentos laterais das diferentes tipologias de quadra



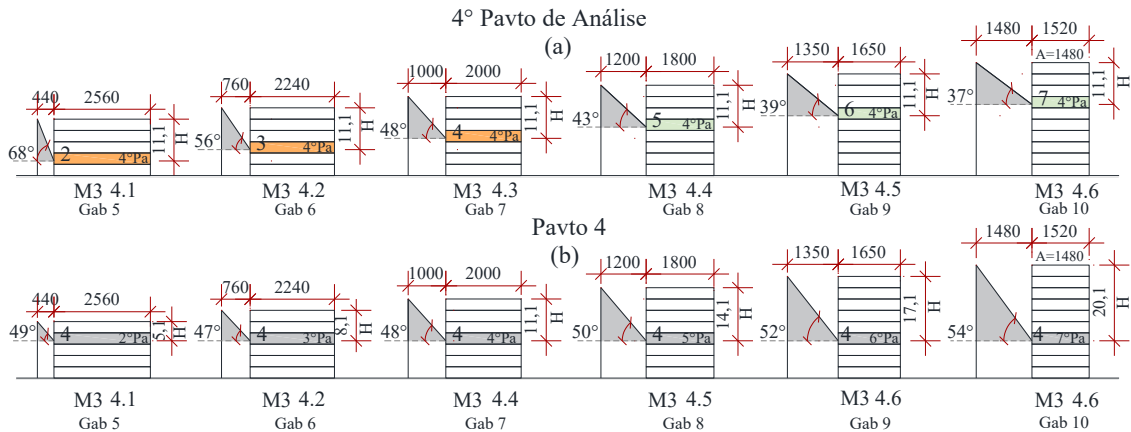
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No M4 foi computado maior afastamento do que no M1, devido ao 1º e 2º pavimentos diferenciados, o que faz a taxa de ocupação dos pavimentos diminuir para manter a mesma área construída das demais tipologias. No M2, mesmo considerando nas análises somente os ambientes 4Fr e 4Fu, foi a tipologia que computou os maiores afastamentos, mas, ao mesmo tempo, ressalta-se que é obstruída pela sua própria geometria.

Entre o M3 e o M4, os afastamentos mais elevados foram computados para o M4, nos índices de aproveitamento 2 e 3. No índice 4, o M3 alcança os valores do M3 e, a partir daí, os afastamentos foram computados maiores para o M3.

Previamente às análises do ângulo de obstrução das tipologias do bloco isolado no lote e das tipologias de quadra, um estudo foi realizado com o intuito de mostrar a importância da estratégia da pesquisa em verificar os ângulos a partir dos pavimentos de análise. A Figura 108(a) mostra o 4º Pa dos cenários de gabarito 5 ao 10, que correspondem aos pavimentos 2, 3, 4, 5, 6 e 7, respectivamente, resultando mesma distância entre o peitoril da abertura até a cobertura do último pavimento (H=11,10m).

Figura 108 – Comparação do 4º pavimento de análise e dos pavimentos 4

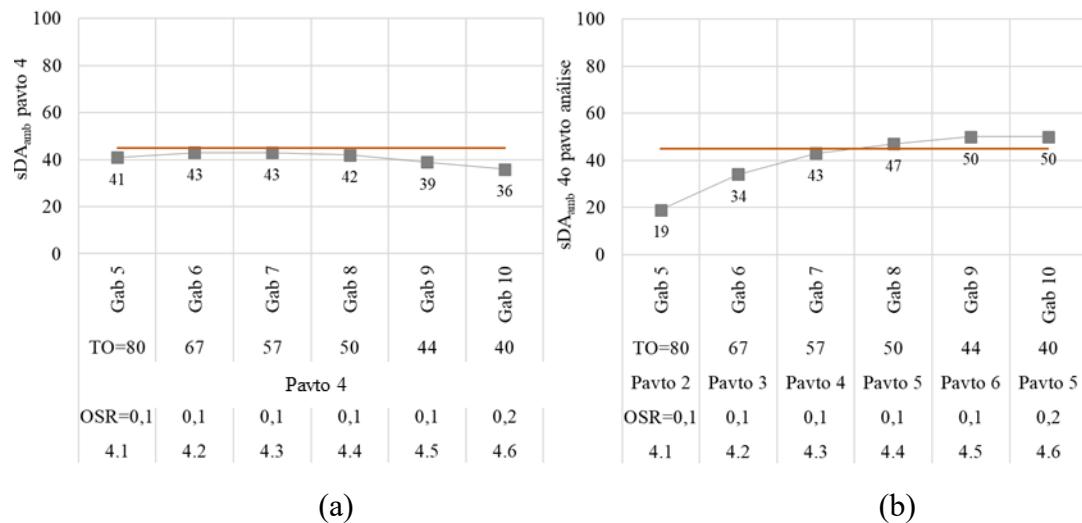


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Por outro lado, quando observados diferentes pavimentos de análise, conforme a Figura 108 (b), que está analisando o pavimento 4 dos mesmos cenários, percebe-se que a obstrução do ambiente de maior gabarito (20,10m) sempre será maior do que os ambientes de menor gabarito (5,10).

A Figura 109 mostra os resultados de desempenho dessas duas condições. No sDA_{pavto} do 4º Pa (a) os valores mais elevados de sDA_{pavto} foram computados para os cenários de maior gabarito e menor TO, pois são os que apresentam maior afastamento da obstrução (mesma altura da obstrução).

Figura 109 – Relação entre sDA do 4º Pa e dos pavimentos 4 do M3



(a)

(b)

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

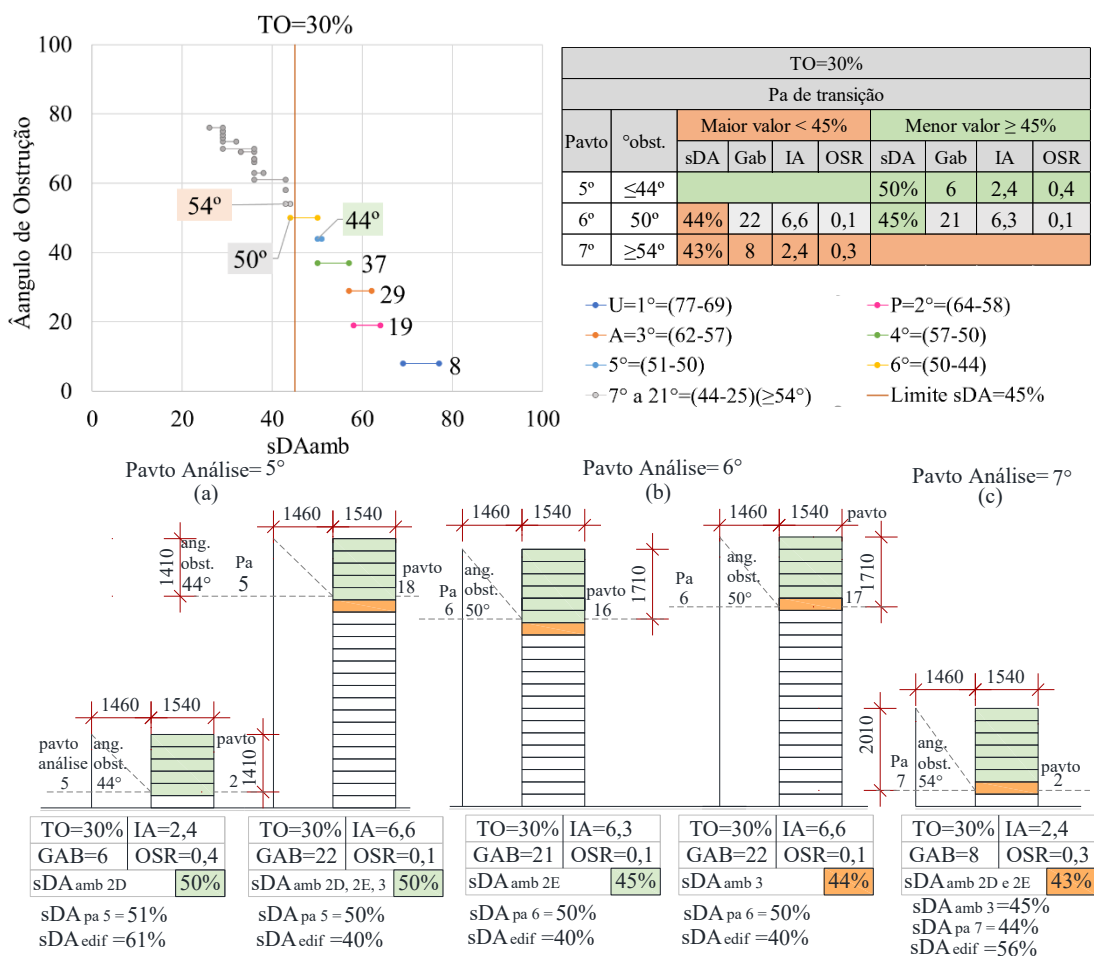
Quando considerado o pavimento 4, em cenários homogêneos, como é o caso desta pesquisa, o ambiente de menor gabarito obtém melhores resultados de sDA_{pavto} , pois a altura até a obstrução é menor. O uso da condição dos pavimentos de análise garante que a altura da obstrução seja a mesma, possibilitando a comparação de ambientes de diferentes gabaritos. O resultado foi computado igual no pavimento 4, que também é o 4º P.

Na tipologia de bloco isolado no lote, os valores dos ângulos de obstrução vertical analisados nas taxas de ocupação da pesquisa encontram-se no APÊNDICE O. Nas tipologias de quadras, nas taxas de ocupação de 30% a 39%, esses valores encontram-se no APÊNDICE P; nas taxas de ocupação de 40% a 49%, no APÊNDICE Q; nas taxas de 50% a 59%, no APÊNDICE R; nas taxas de 60% a 69%, no APÊNDICE S, e nas taxas de 70% a 80%, no APÊNDICE T.

Como os afastamentos entre edificações de mesma taxa de ocupação são iguais, num mesmo pavimento de análise, o ângulo de obstrução também é igual. Na taxa de ocupação igual a 30%, para garantir desempenho satisfatório o ângulo deve ser $\leq 44^\circ$ (5º Pa). Os ângulos entre 53° a 45° correspondem aos valores de transição (6º Pa). Os resultados do ângulo $\geq 54^\circ$ (7º Pa) não obterão resultados satisfatórios. Isso significa que o cenário de gabarito 6 (Figura 110a) garantiu resultados até o 5º Pa, ou seja, todos os pavimentos, assim como os cenários de gabarito 2 a 5. Na análise do 6º Pa, o de transição (Figura 110b), os resultados foram garantidos até o gabarito 21.

No gabarito 22, o valor do $sDA_{amb\ 3}$ foi computado com $sDA=44\%$. A partir do 7º Pa, os valores computaram $sDA<45\%$ e (Figura 110c) mostra o cenário de gabarito 8, o primeiro a ter o 7º Pa.

Figura 110 – Ângulo de Obstrução da TO=30% da tipologia de bloco isolado no lote



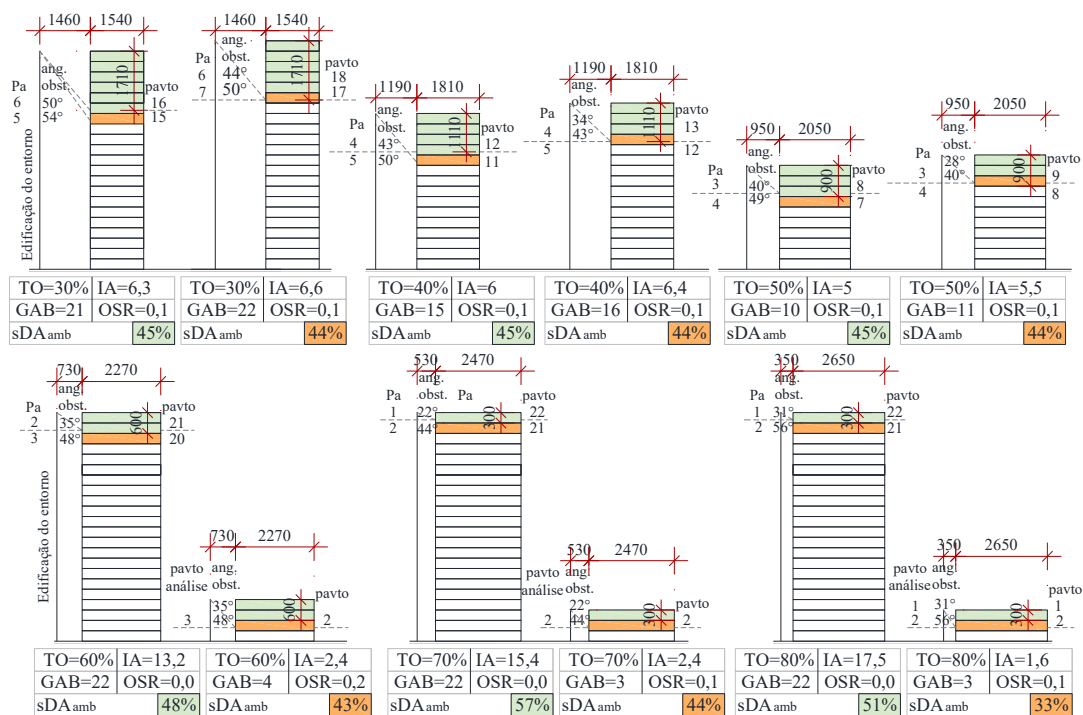
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A Figura 111 mostra, na TO=30%, 40%, 50%, 60%, 70% e 80%, o cenário que obteve menor valor na faixa de $sDA \geq 45\%$, e o de maior valor na faixa de $sDA = 44\%$ a 30%. Na taxa de ocupação igual a 40%, para garantir desempenho satisfatório o ângulo deve ser $\leq 44^\circ$ (3° Pa). Os ângulos entre 49° e 35° correspondem aos valores de transição (4° Pa). Os resultados do ângulo $\geq 50^\circ$ (5° Pa) não obterão resultados satisfatórios.

Na taxa de ocupação igual a 50%, para garantir desempenho satisfatório o ângulo deve ser $\leq 2^\circ$ (2° Pa). Os ângulos entre 48° e 29° correspondem aos valores de transição (3° Pa). Os resultados do ângulo $\geq 49^\circ$ (4° Pa) não obterão resultados satisfatórios.

A partir da taxa de ocupação igual a 60%, não foi mais obtido pavimento de análise transitório. Na TO=60%, o ângulo limite para se obter $sDA \geq 45\%$ deve ser $\leq 35^\circ$ (2° Pa). Na TO=70% e 80%, somente o 1° Pa estará garantido, se computado ângulo menor ou igual a $\leq 22^\circ$ e $\leq 31^\circ$, respectivamente. Na TO=70%, a partir no 7° Pa e na TO=80%, a partir do 11° Pa, os ambientes computaram valor de $sDA=0$, resultando em obstrução total.

Figura 111 – Cenário de menor valor na faixa de $sDA \geq 45$ e maior valor de $sDA < 45\%$



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

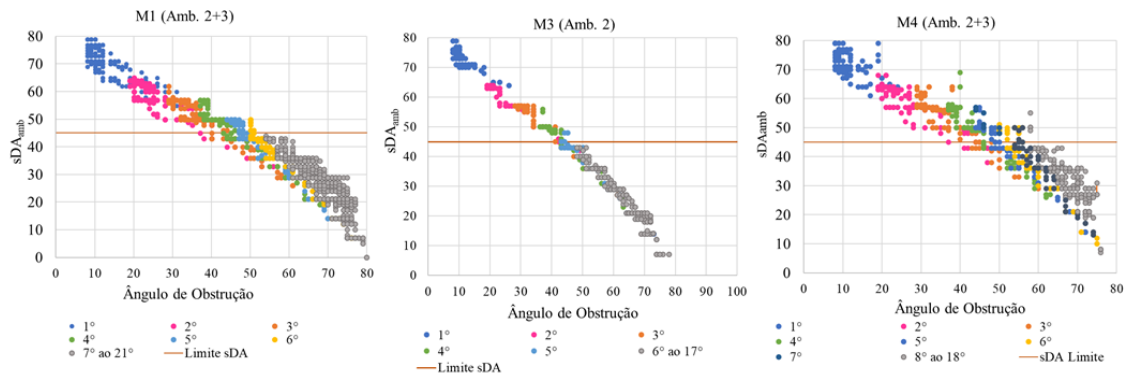
Em relação ao ângulo de obstrução das tipologias de quadra, a *Figura 113* mostra cada ambiente do estudo, representado por um ponto. Os resultados que não obtiveram desempenho de $sDA \geq 45\%$ foram ilustrados em cinza.

Os cenários do M1e M4 têm 3 pontos em cada pavimento de análise (2E+2D+3). No M2 cada cenário apresenta 4 pontos (4Fr+4Fu+4D+4E), e no M3, 2 pontos (2E+2D).

Os primeiros Pa obtiveram os melhores resultados de sDA, onde estão locados os ambientes menos obstruídos pelo entorno. Quanto maior o valor do sDA, menor será o ângulo de obstrução (*Figura 112*). Quanto mais pavimentos de análise atendidos (alcançando $sDA_{amb} \geq 45\%$), melhor será o resultado de desempenho da tipologia

analisada. No M1, o 5° e o 6° Pa foram considerados transitórios. Também foram considerados transitórios o 5° (no M3), o 6° e o 7° (no M4).

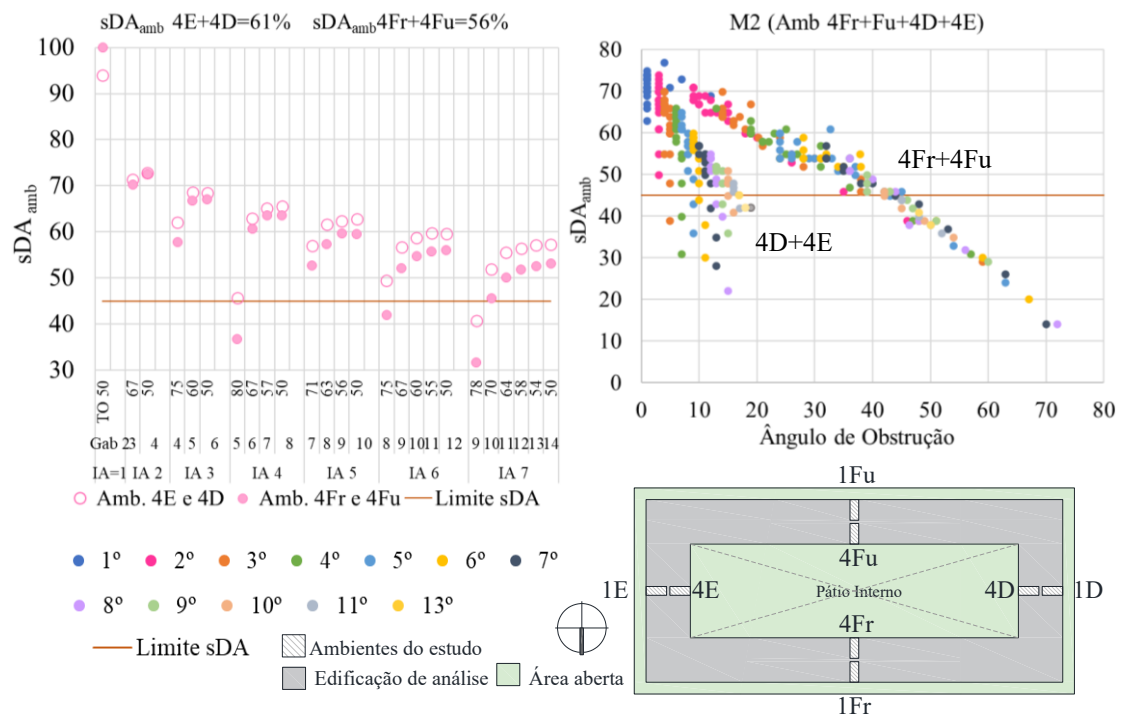
Figura 112 – Ângulo de Obstrução de todos os ambientes das tipologias M1, M3 e M4



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No M2 há uma diferença significativa nos valores dos afastamentos de um mesmo pavimento entre ambientes 4E e 4D e ambientes 4Fr e 4Fu, devido à geometria retangular da quadra, que resultou em grande diferença nos ângulos de obstruções (Figura 113).

Figura 113 – Ângulo de obstrução das tipologias de quadras



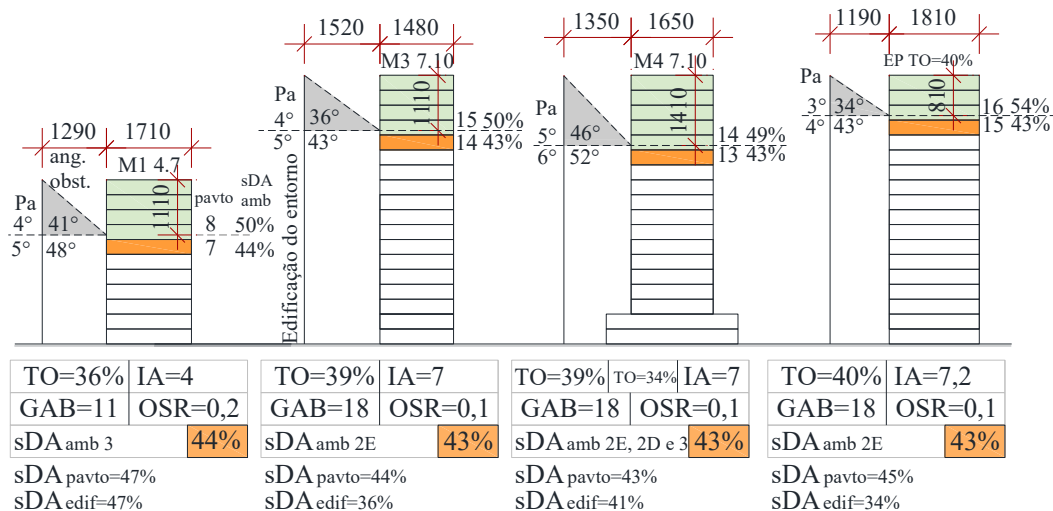
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Os valores de sDA dos ambientes 4Fr e 4Fu ($sDA_{amb}=56\%$) foram computados menores do que os ambientes 4E e 4D ($sDA_{amb}=61\%$). Nas taxas de ocupação mais elevadas, a diferença dos resultados entre esses ambientes é menor, devido a menores afastamentos e maiores obstruções, que favorecem que os maiores afastamentos nos ambientes 4E+4D influenciem nos valores obtidos. Entretanto, essa tipologia deve ser complementada com as análises da porcentagem de céu visível que analisa a abóbada celeste, uma vez que essa tipologia tem a obstrução da própria edificação.

Para analisar as particularidades de cada tipologia de quadra, os resultados foram divididos de acordo com as faixas de valores da TO.

Na TO=30% a 39%, o M1 4.7, M3 7.10, M4 7.10 e o cenário de gabarito 18 da TO=40% do bloco isolado no lote foram os cenários computados com o maior valor na faixa de $sDA_{amb}=44\%$ a 30%, conforme mostra a Figura 114.

Figura 114 – Ângulos na faixa de TO=50% a 59% do M2 e TO=60%



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No M2 não foi possível a criação de cenários com TO<50%. O ângulo de obstrução computado para M1, M3 e M4 e EP (TO=40%) foi igual a 41° (4° Pa), 36° (4° Pa), 46° (5° Pa) e 34° (3° Pa), com sDA_{amb} iguais para todos os modelos. O resultado mais restritivo foi computado no cenário de gabarito 18 da TO=40% (34° no 3° Pa). Um valor próximo a este foi encontrado no M3 (36°), no 5° Pa.

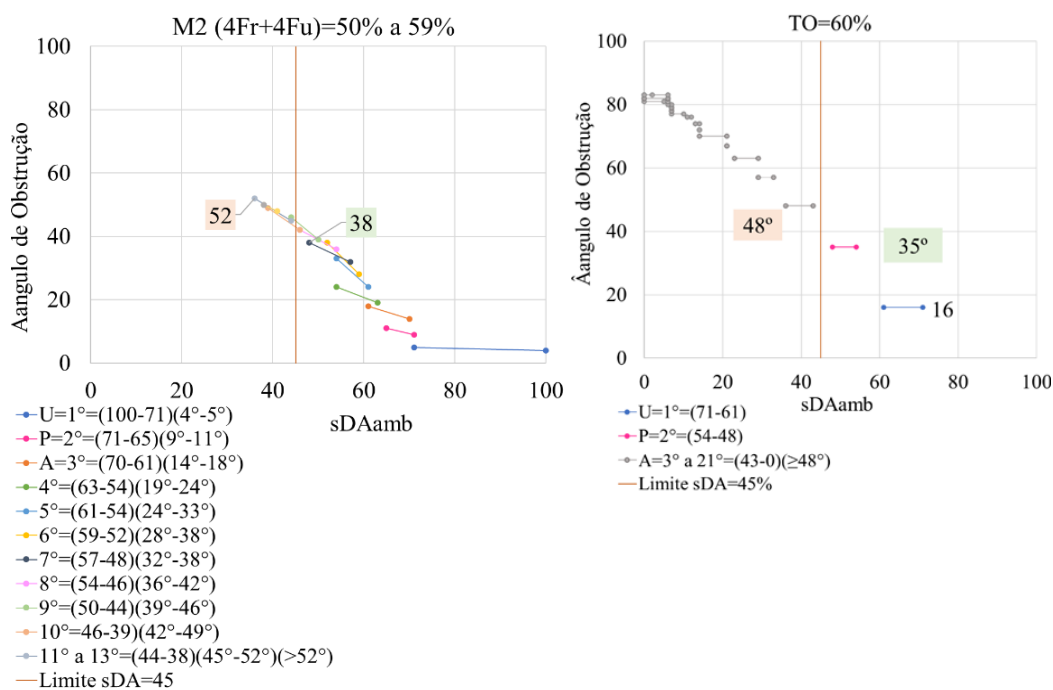
Entre M1 e M3, com mesma altura da obstrução, mesmo número de pavimentos atendidos e mesmo valor de sDA_{amb} no 4º Pa, o M3 permite melhor desempenho, pois alcançou o maior afastamento da obstrução e, assim, o menor ângulo de obstrução.

Entre M3 e M4, com mesma área construída (mesmo cenário), o M4 obteve melhor resultado com 5 pavimentos atendidos. No M3, os ângulos de obstrução entre 37º e 47º são considerados de transição no 5º Pa. No M4, o 5º Pa foi atendido com 46º (limite para se obter desempenho satisfatório).

Quando considerados os valores de sDA_{edif} , o M1 obteve o resultado mais significativo, com 47%, mas com menor valor de TO, menor gabarito e menor área construída (IA=4).

A Figura 115 mostra os ângulos encontrados na TO=50% a 59%, do M2 (média dos ambientes 4Fr+4Fu – média) e os compara com o cenário de gabarito 4, de TO=60% do bloco isolado no lote, cenário que obteve o menor valor na faixa de $sDA \geq 45\%$, garantindo desempenho satisfatório somente até o 2º Pa.

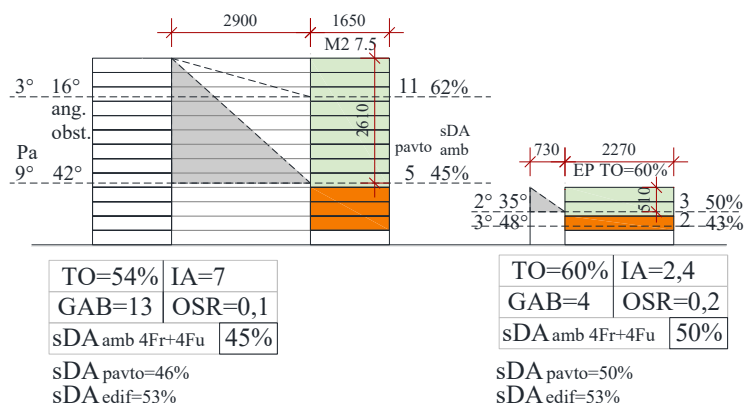
Figura 115 – Ângulos na faixa de TO=50% a 59% do M2 e TO=60%



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

O cenário no M2-7.5 também foi o que obteve o menor valor na faixa de $sDA \geq 45\%$. Com afastamento de 29 m, garante desempenho satisfatório até o 9º Pa. No 3º Pa, o ângulo computado no M2 foi de 16º (Figura 116).

Figura 116 – Cenários M2 7.5 e EP (TO=60%)



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Entretanto, o M2 possui, além da obstrução do entorno, a obstrução da própria edificação. Visto que o ângulo de obstrução calcula somente a obstrução frontal e não considera as laterais, as análises em relação à porcentagem de céu visível complementaram o estudo.

As faixas encontram-se no APÊNDICE P (TO=30% a 39%), APÊNDICE Q (TO=40% a 49%), APÊNDICE R (TO=50% a 59%), APÊNDICE S (TO=60% a 69%) e APÊNDICE T (TO=70% a 80%), juntamente com a porcentagem de céu visível.

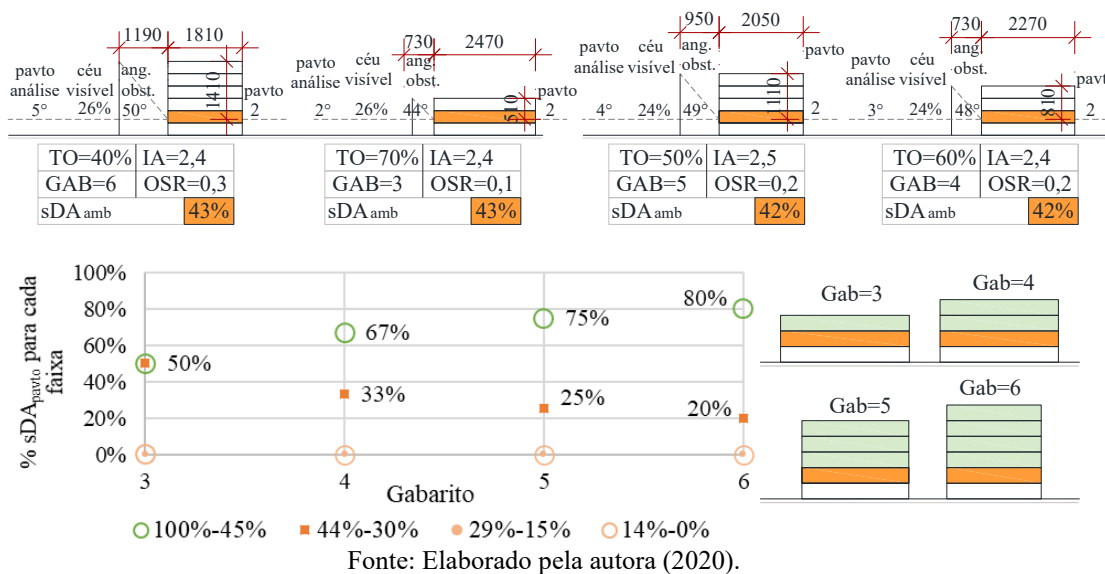
4.3.2 Porcentagem de Céu Visível

A porcentagem de céu visível é inversamente proporcional ao ângulo de obstrução. Na TO=30%, se um ambiente computar porcentagem de céu visível igual ou maior que 29%, o desempenho satisfatório estará garantido. Os valores transitórios encontram-se entre 28% e 26%, referentes ao 6º Pa. Se o valor obtido for igual ou menor

que 25% (a partir do 7° Pa), o desempenho da luz natural no interior dos ambientes não será satisfatório.

Assim, a porcentagem de céu visível com TO=40% e 70% é a mesma, de 26% (para sDA<45%), mas correspondendo ao 5° e ao 2° Pa. A mesma condição acontece com TO=50% e 60%, ambas com 24%, no 4° e no 3° Pa (Figura 117).

Figura 117 – Cenários com mesma porcentagem de céu visível com TO=40% e 70%



Na categorização das faixas de valores de sDA_{pavto}, realizada para os cenários da Figura 117, o cenário de gabarito 6 (TO=40% e OSR=0,3) foi o considerado mais significativo, seguido dos cenários de gabarito 5 (TO=50%), gabarito 4 (TO=60%) e gabarito 3 (TO=70%)

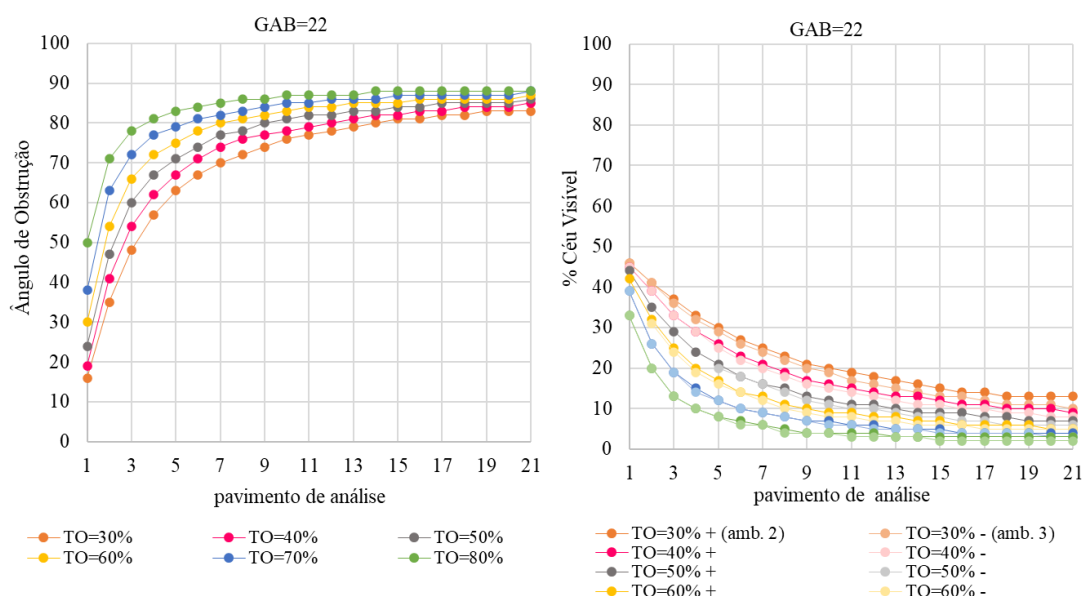
Considerando cenários com mesmo IA, mesmo ângulo de obstrução e mesma porcentagem de céu visível, verificou-se maior influência da TO do que do gabarito no desempenho da luz natural no interior dos ambientes analisados. Nessas condições, cenários com maior gabarito e menor TO obterão valores mais significativos de desempenho.

A Figura 118 mostra a relação entre o ângulo de obstrução e os pavimentos de análise para a edificação de gabarito 22 no bloco isolado no lote. Para o mesmo Pa, o ângulo de obstrução é menor e a porcentagem é maior para os cenários de menor TO.

Ressalta-se que o 1º Pa é o último pavimento da edificação, enquanto que o pavimento 2 é o último Pa.

No 1º Pa, a variação entre TO foi de 16º a 50º. Essa variação é menor entre os últimos pavimentos de análise, tendo sido computados valores entre 83º e 88º. Na TO=80%, os cenários já estão fortemente obstruídos e, a partir do 14º Pa, os ângulos permanecem inalterados, computando-se valores similares até o 21º Pa.

Figura 118 – Ângulo de obstrução e céu visível de cenário de gabarito 22 – Blocos no lote



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Em relação à porcentagem de céu visível, maiores valores foram computados para os ambientes 2 (Figura 118 – tons escuros) do que para os ambientes 3 (Figura 118 – tons claros). Entretanto, essa diferença percentual variou em até 1% e, dessa forma, as análises foram realizadas conjuntamente.

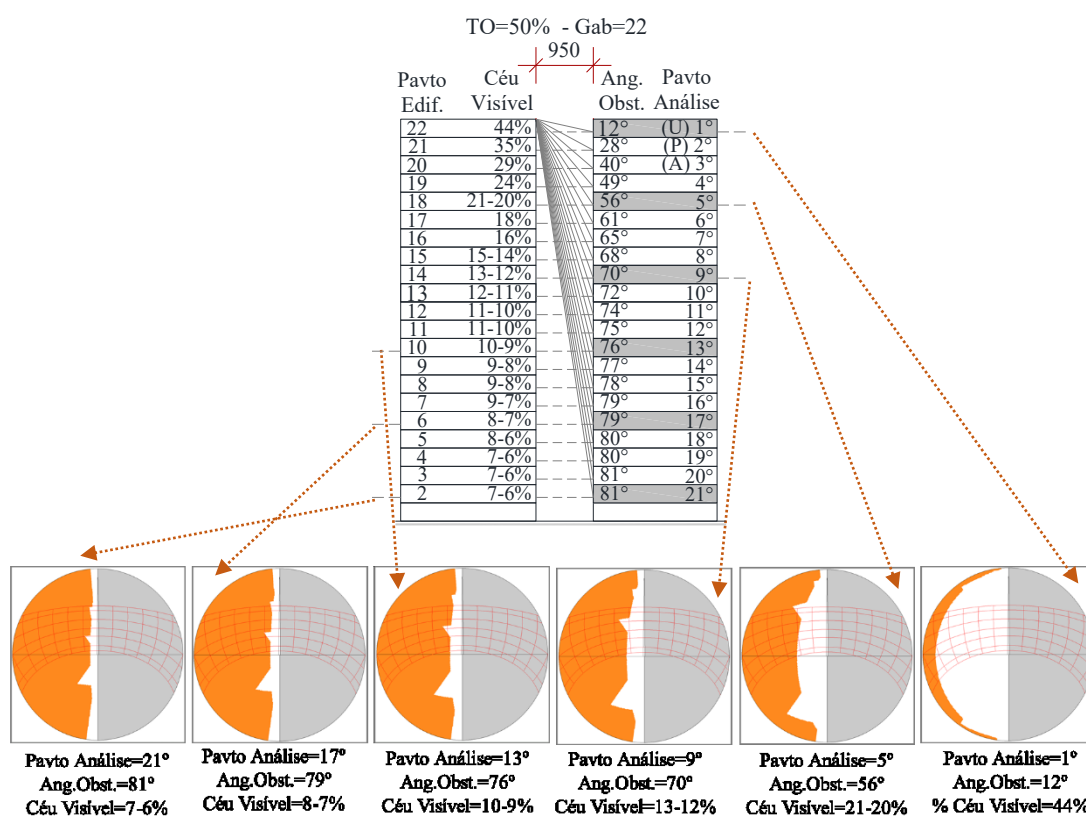
Enquanto o cálculo do ângulo de obstrução considera somente a obstrução frontal oposta, a porcentagem de céu visível contempla toda a abóbada visível. Os cálculos e as simulações foram realizados a partir do centro do peitoril das aberturas dos ambientes, para todos os pavimentos da edificação.

A Figura 119 mostra a edificação de análise do cenário de gabarito 22, da TO=50%, indicando os resultados do ângulo de obstrução e da porcentagem de céu visível de todos os pavimentos. A máscara solar foi representada para o 2º, 6º, 10º, 14º, 18º e 22º

Pa (o interior do ambiente 2E na cor cinza, a obstrução na cor laranja e o céu visível na cor branca).

Nos primeiros pavimentos de análise, os ambientes estão menos obstruídos e, assim, o ângulo de obstrução é menor (cor laranja) e a porcentagem de céu visível é maior (cor branca), situação mais favorável para o desempenho da iluminação natural no interior dos ambientes.

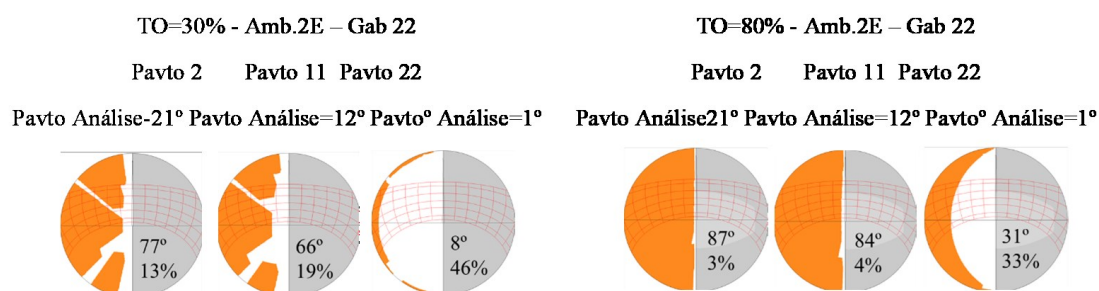
Figura 119 – Ângulo de obstrução e céu visível do gabarito 22 e TO=50%



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A Figura 120 analisa também o cenário de gabarito 22, comparando a TO=30% e a TO=80%. Na TO=80% não é possível visualizar o céu pelas laterais, como ocorre na TO=30%. Em relação à porcentagem de céu visível das tipologias de quadra, a Figura 121 mostra os resultados do M2 (4Fr+4Fu) e M2 (4D+4E). Os maiores afastamentos foram encontrados nos ambientes 4D+4E, que computaram os melhores (menores) ângulos de obstrução.

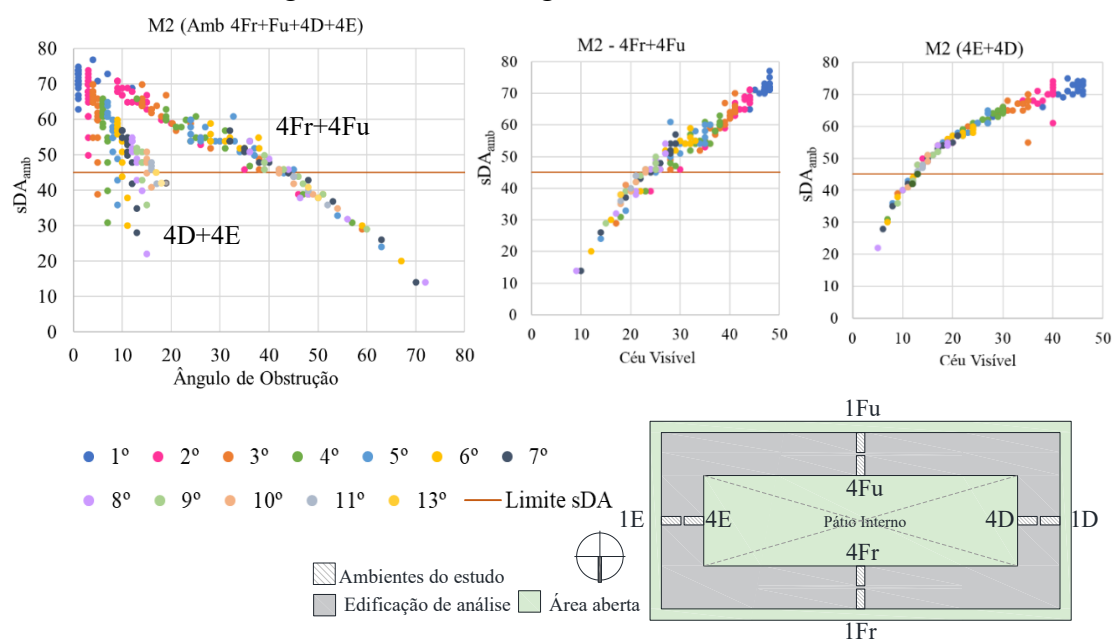
Figura 120 – Ângulo de obstrução e céu visível da TO=30% e TO=80% dos ambientes 2



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Entretanto, quando analisados os valores da porcentagem de céu visível nos ambientes 4D+4E, não se observam os valores mais significativos, como o esperado. Isto se deve à obstrução da própria edificação que, mesmo com o afastamento entre 4E e 4D maior do que com 4Fr e 4Fu, a sombra das fachadas interfere nos resultados de desempenho e nos resultados da porcentagem de céu visível (Figura 121).

Figura 121 – Porcentagem de céu visível do M2

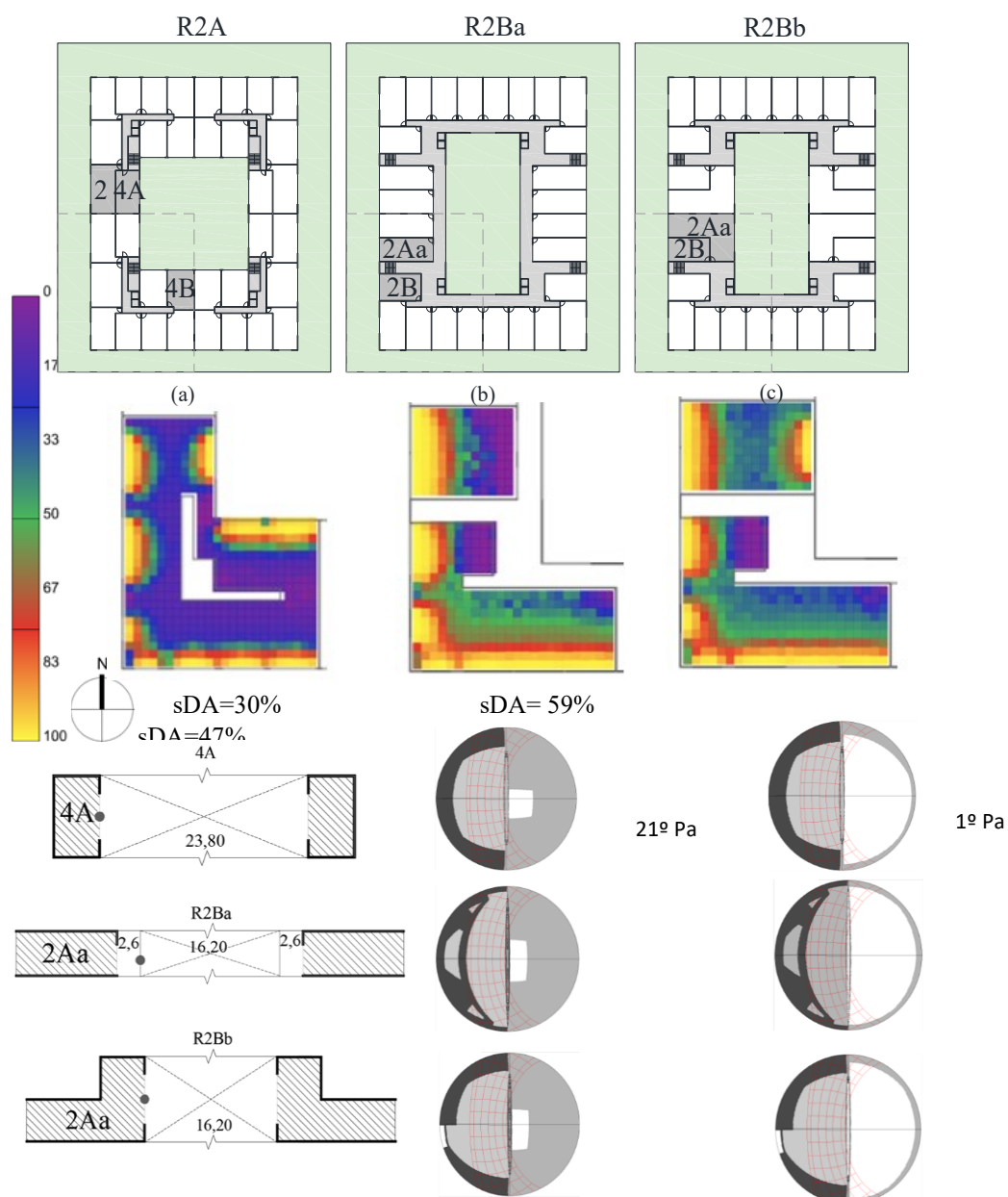


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Na TO=70% a 80%, com cenários já fortemente obstruídos, os valores do M2 se igualaram às demais tipologias, provando ser uma faixa muito elevada para obter resultados de desempenho satisfatório da luz natural no interior dos ambientes.

Outras análises foram realizadas considerando diferentes leiautes da tipologia de ocupação perimetral. Foram desenvolvidos três diferentes leiaute, para comparado: (1) o ambiente 4A da geometria R2A, com somente uma abertura voltada para o vão central, (2) o ambiente 2Aa, da R2Ba, com duas aberturas, uma voltada para o exterior e outra para a circulação comum aberta, que dá acesso ao vão central, e por fim, (3) o ambiente 2Aa, da R2Bab, com uma abertura para o exterior e uma para o pátio interno (Figura 122).

Figura 122 – Análise de diferentes leiautes na tipologia de ocupação perimetral



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Observa-se que com mesma área de abertura, mas diferentes características arquitetônicas, referentes ao dimensionamento dos ambientes, apresentando diferente largura e comprimento, influenciaram nos resultados de desempenho.

No estudo das máscaras, a parte branca é a área visível de céu e cinza claro é o entorno obstruído. Dentro do ambiente, o cinza claro é o teto e o escuro, as paredes. No desenho da planta dos ambientes, há marcação de um ponto na exata localização onde as máscaras foram realizadas. Os valores médios de sDA foram 30%, 59% e 47%, para R2A, R2Ba e R2Bb, respectivamente.

Das três relações identificadas na pesquisa, o ângulo de obstrução e o céu visível foram acrescentados aos parâmetros urbanos (IA, TO e gabarito). O ângulo de obstrução diminui (menos obstrução – situação positiva), enquanto a porcentagem de céu visível aumenta (inversamente proporcional), condição favorável para os resultados de desempenho da luz natural no interior dos ambientes.

Para comparar os resultados de desempenho utilizando o ângulo de obstrução e a porcentagem de céu visível, foram realizadas duas análises, considerando o cenário 4.2 (IA=4, TO=50% e gabarito 8) e o cenário 7.4 (IA= 7, TO=57% e gabarito 12), das quatro tipologias do estudo.

Quando os cenários apresentam mesmo gabarito, as análises podem ser realizadas através do pavimento de análise ou do pavimento da edificação, pois referem-se aos mesmos ambientes de análise. Entretanto, deve-se atentar, no M4, que o primeiro pavimento tipo é o pavimento 3, enquanto que nas demais tipologias é o pavimento 2.

A primeira análise referente ao cenário 4.4 encontra-se na *Figura 123*. No M2 e no M4, todos os pavimentos obtiveram resultados de desempenho satisfatório, sendo computado valor mais elevado de sDA_{edif} para o M2.

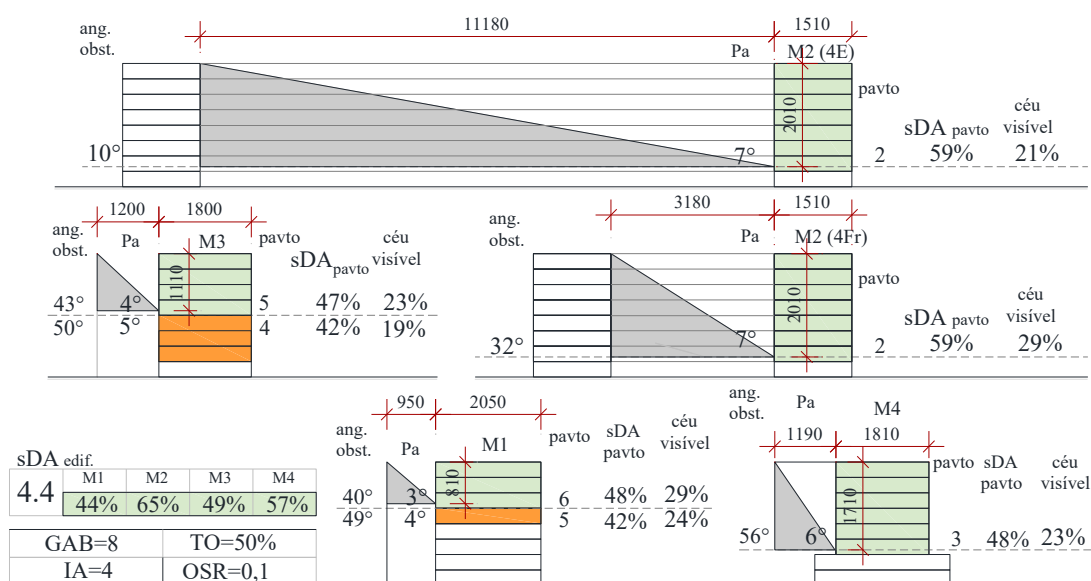
Em relação aos ambientes do M2, observa-se afastamento significativamente maior e menor ângulo de obstrução para o 4E. Entretanto, foi obtido mesmo resultado de sDA_{pavto} para ambos os ambientes. Isto ocorreu porque esta tipologia tem obstrução procedente da própria edificação, e assim, apesar dos maiores valores do ângulo e afastamento, a porcentagem de céu visível computado foi igual, justificando o resultado de mesmo desempenho.

No M2, enquanto o ângulo de obstrução aumenta, a porcentagem de céu visível também aumenta, em razão da obstrução da própria edificação. Nas demais tipologias, com o aumento do sDA, o ângulo de obstrução diminui, enquanto a porcentagem de céu visível aumenta.

A porcentagem de céu visível foi maior no M4 (23%) do que no M2 (4E – 21%), mas observa-se que se trata de diferentes pavimentos de análise. A porcentagem de céu visível no 6º Pa do 4E foi de 24%.

Entre o M3 e o M1, o 4º e o 3º Pa foram os primeiros pavimentos a computar valor satisfatório, constando-se, assim, uma vantagem de um pavimento a mais atendido para o M3. Esse resultado pode ser confirmado nos valores de $sDA_{edif}=49\%$ e 44% e também nos valores obtidos da categorização das faixas de $sDA \geq 45\%$, computando-se 57% e 43% , respectivamente.

Figura 123 – Análise 1 – Cenário 4.4

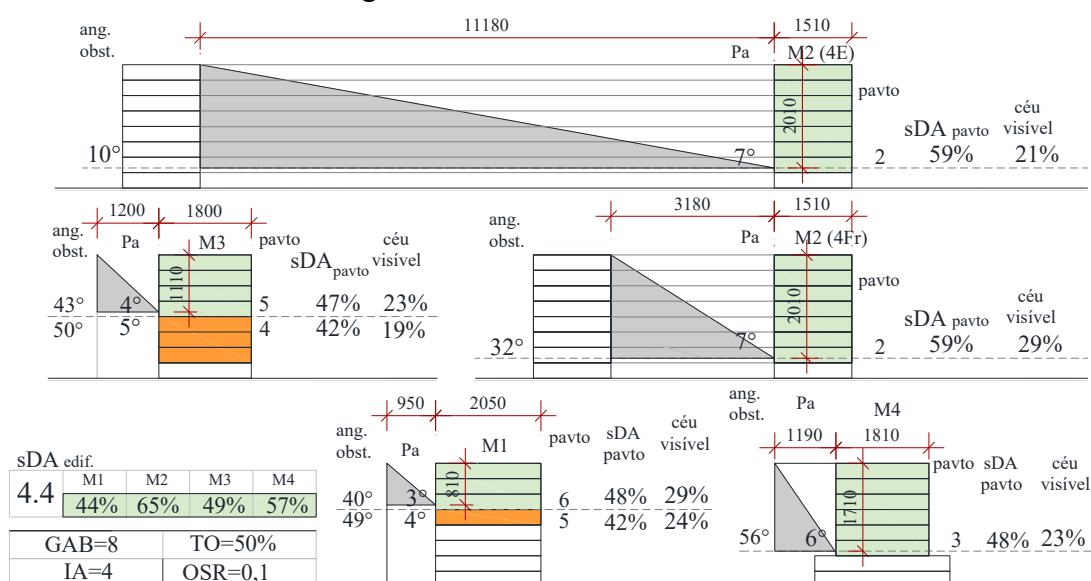


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Os resultados da segunda análise referente ao cenário 7.4 estão na Figura 124. Nos ambientes do M2 até o 9º Pa, os resultados de desempenho foram garantidos. Diferente do que ocorre nas demais tipologias, no M2 a porcentagem de céu visível foi maior no ambiente 4Fr, o que apresenta menor afastamento e maior ângulo de obstrução.

O M1 apresentou o resultado mais restritivo, somente até o 2º Pa foi atendido, computando valor do ângulo de obstrução igual a 34°; de acordo com os resultados da tabela de transição, esse é o valor limite para se obter desempenho satisfatório nessa faixa de taxa de ocupação. Em relação ao M3 e ao M4, com a mesma quantidade de pavimentos atendidos, na categorização da faixa de $sDA \geq 45\%$, os valores obtidos foram iguais a 27% e 30%, respectivamente. Na faixa de $sDA=44\%$ a 30%, os resultados também foram similares, com 18% e 20%. Observa-se que o ângulo de obstrução e a porcentagem de céu visível também foram computados com valores muito próximos.

Figura 124 – Análise 2 – Cenário 7.4



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A escolha entre M3 e M4, considerando os resultados de desempenho tão similares, pode ser realizada considerando suas especificidades, para a tomada de decisões de implantação de leiaute interno, de maneira a favorecer a luz natural no interior dos ambientes e, a partir daí, escolher a tipologia que proporcione a melhor estratégia para um determinado projeto.

4.4 ETAPA 4 – COMBINAÇÃO DE ÍNDICES NORMATIVOS E INFORMATIVOS

4.4.1 Análise de desempenho com a utilização de índices normativos

Nesta parte da pesquisa, o desempenho da luz natural no interior dos ambientes foi analisado, com base nos valores máximos dos índices normativos, considerando as regras urbanas do município de Florianópolis.

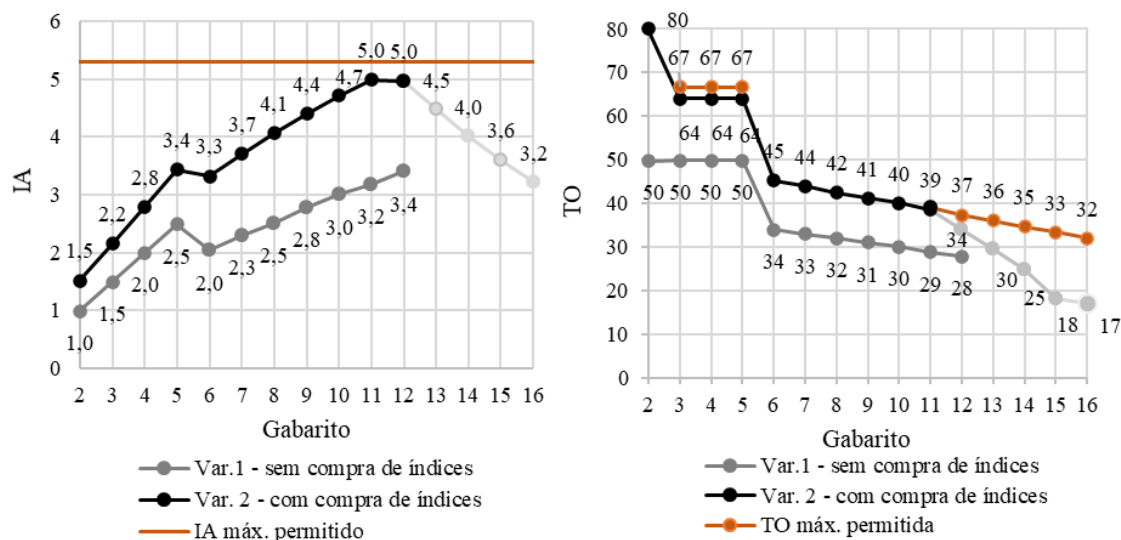
Na primeira análise foram criados todos os possíveis cenários de acordo com a legislação do município, atentando para a compra de índices urbanísticos. Novas simulações foram realizadas para verificar se as configurações urbanas permitidas são suficientes para garantir a luz natural no interior dos ambientes.

No segundo estudo, considerando um lote inserido numa quadra já consolidada, sendo observados os valores de IA e TO máximos, foram testadas duas opções de implantação da edificação de análise, de maneira a permitir maior incidência da luz natural no interior dos ambientes. Não foram realizadas novas simulações, e as análises de desempenho de cada pavimento foram realizadas utilizando-se dos resultados da pesquisa.

4.4.1.1 *Situação 1 – Cenários criados de acordo com a legislação de Florianópolis*

Os cenários foram criados, centralizados no lote, considerando as duas alternativas de ocupação: sem compra (variação 1) e com compra de índices urbanísticos (variação 2), sendo os valores de IA e TO, dos cenários de cada gabarito criados (2 ao 12), apresentados na Figura 125. Os gabaritos de 13 a 16 (ilustrado na cor cinza claro), na variação 2, não foram incluídos, pois resultaram em edificações com menos de 14 metros de largura, o que não permitiu a inserção dos ambientes de análise sem sobreposição, simultaneamente em todas as fachadas. Na variação 2, os resultados apresentados são referentes aos pavimentos tipo. O 1º pavimento e o 2º apresentam taxa de ocupação de 80%.

Figura 125 – Relação entre IA e TO dos cenários considerando a legislação



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A linha horizontal representa o valor máximo do IA de 5,3 permitido na área escolhida para o estudo (AMC 16.5), não considerando o uso de subsolo. Na cor laranja, estão representados os valores da taxa de ocupação com a compra de índices. Entretanto, em razão dos afastamentos mínimos obrigatórios, estes valores não foram possíveis de alcançar nos gabaritos 3, 4, 5 e a partir do gabarito 12.

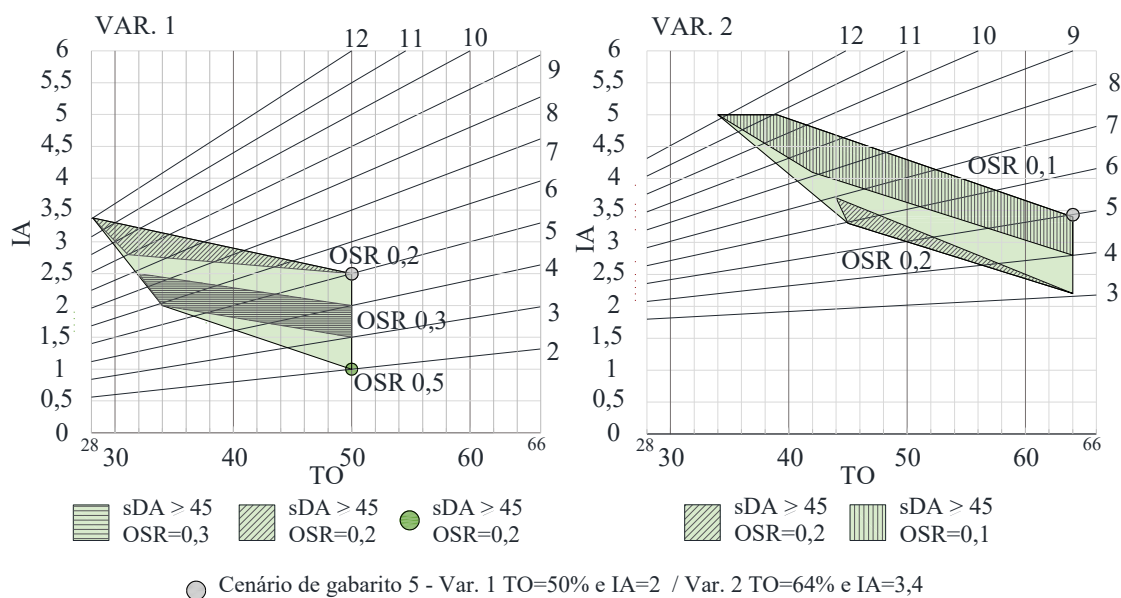
Com a mesma taxa de ocupação (TO=50%), o índice de aproveitamento dos cenários de gabarito 2 a 5 aumenta proporcionalmente de acordo com o aumento do gabarito, e decresce no 6º, com a alteração do cálculo da taxa de ocupação máxima permitida, diminuindo o valor da taxa para 34%. Como consequência, as áreas construídas dos cenários de gabarito 4 e 6 são iguais, e os cenários de gabarito 6 e 7 apresentam áreas construídas menores do que no gabarito 5. A área construída aumenta novamente a partir do gabarito 8.

O valor máximo permitido de taxa de ocupação não é atingido no cenário de gabarito 12 (34% dos 37%), o que significa uma redução de 300m² (aproximadamente um pavimento tipo) de área construída total, fazendo com que o IA se iguale ao gabarito 11, sendo este considerado o cenário que apresenta melhor potencial construtivo. Na variação 1, como esperado, o gabarito com maior potencial construtivo é o 12.

Como resultado das simulações, em todos os cenários foram computados valores de desempenho satisfatório ($sDA_{edif} \geq 45$) e foi observada uma diferença percentual média entre variação 1 e 2 de 5%. No diagrama *Spacemate*, da Figura 126, os resultados são

apresentados graficamente, sendo exemplificados os cenários de gabarito 5, de variação 1 (TO=50%, IA=2,5 e OSR=0,2) e 2 (TO=64%, IA=3,4 e OSR=0,1).

Figura 126 – Diagrama Spacemate – Cenários da Situação – Variação 1 e 2



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Quanto maior o valor de OSR, maiores serão os valores de desempenho da edificação. Para tanto, nas condições em que a taxa de ocupação se mantém constante, o índice de aproveitamento e o gabarito devem diminuir, como é o exemplo, entre os cenários de gabarito 5 e IA=2,5, OSR=0,2 e gabarito 2, no IA=1, OSR=0,5, ambos com TO=50%.

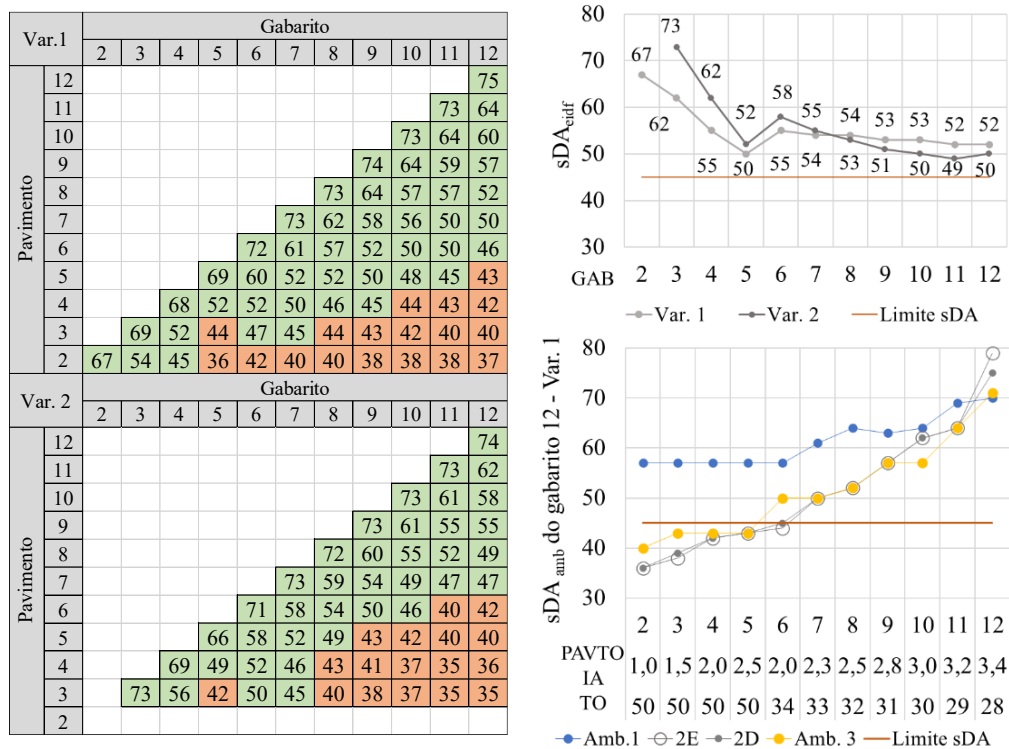
Nas condições em que o índice de aproveitamento não se altera, o gabarito deve aumentar e a taxa de ocupação diminuir, como por exemplo entre os cenários de gabarito 11 (TO=29%, OSR=0,2) e 16 (TO=17% e OSR=0,2), ambos com IA=3,2.

Na condição em que o gabarito se mantém constante, a taxa de ocupação e o índice de aproveitamento devem diminuir, como é o exemplo entre o cenário de gabarito 4, de TO=50%, IA=2 e OSR=0,3 e o cenário de TO=64%, IA=2,8 e OSR=0,1.

Evidencia-se o melhor desempenho da luz natural no interior dos ambientes do cenário de gabarito 6, em relação ao gabarito 5, visto haver menor taxa de ocupação e índice de aproveitamento. Observa-se que, a partir do cenário de gabarito 7, os melhores resultados de desempenho foram computados na variação 1, a que apresenta menores índices urbanísticos.

Embora os valores de sDA_{edif} tenham sido satisfatórios para todos os cenários, quando analisados os valores de sDA_{pavto} e sDA_{amb} , conforme mostra a Figura 127, os resultados não foram garantidos para todos os pavimentos e ambientes.

Figura 127 – sDA_{edif} , sDA_{pavto} e sDA_{amb} simulados para os cenários legislação



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A leitura dos valores de sDA_{pavto} é realizada na diagonal, e os valores aumentam no sentido do canto inferior direito (situações mais restritivas) em direção ao canto superior esquerdo. Os resultados mais restritivos foram encontrados no gabarito 5.

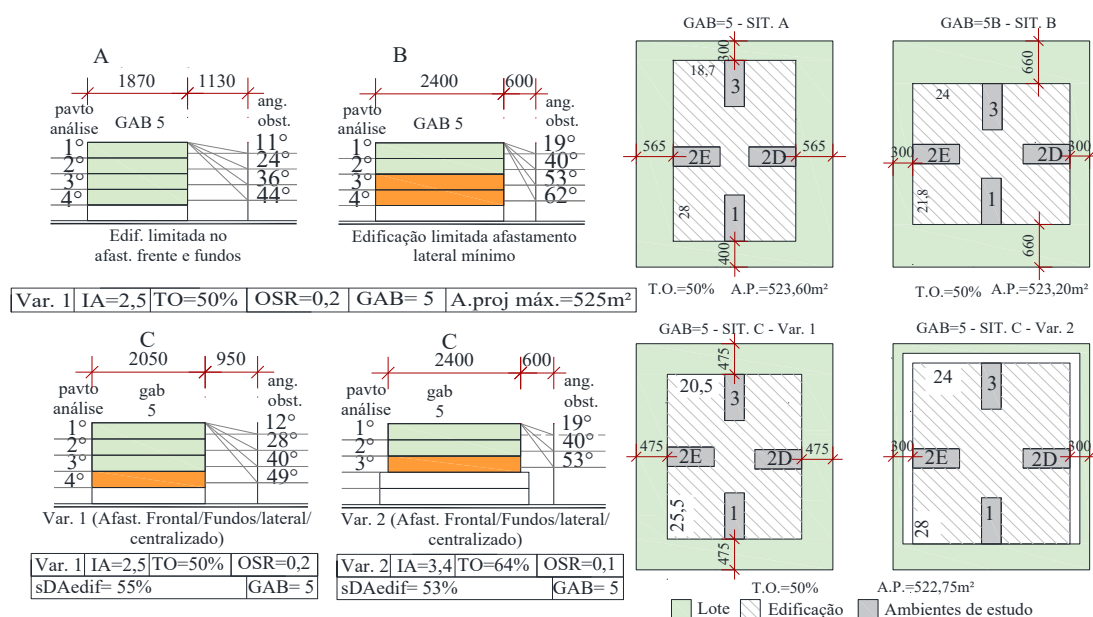
Em relação ao desempenho dos ambientes do cenário de gabarito 12, computando $sDA_{edif}=52\%$, o sDA_{amb} 2 a 5 não computaram resultados satisfatórios. Em razão dos maiores afastamentos, nos primeiros pavimentos, os valores mais significativos foram encontrados nos ambientes 3, quando comparados com os ambientes 2. A partir do gabarito 7, os afastamentos se aproximam, e assim também os resultados de desempenho.

Quando analisado o desempenho da edificação, a legislação vigente do município de Florianópolis mostrou-se eficaz no controle do uso do solo. Entretanto, quando a edificação foi avaliada por pavimento, constatou-se que as regras urbanas não são

suficientes para garantir resultados de desempenho satisfatório, especialmente nos pavimentos inferiores.

No cenário de gabarito 5 foi analisado o desempenho da luz natural para três diferentes implantações no lote, conforme mostra a Figura 128: a situação A (edificação limitada nos afastamentos frente e fundos) e a situação B (edificação limitada nos afastamentos laterais – de acordo com a variação 1), e a situação C (edificação centralizada sem e com compra de índice urbanístico).

Figura 128 – Análise de diferentes implantações do lote no cenário de gabarito 5



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

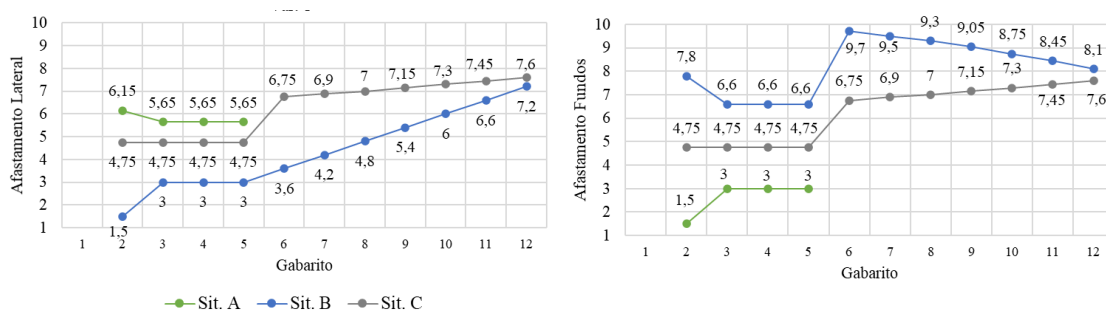
A situação A é a implantação que permitiu o maior afastamento nas laterais (ambientes 2 – obstruídos), conforme mostra a Figura 129, e como consequência, apresentou os melhores resultados de desempenho. Entretanto, considerando essa condição, foi possível criar cenários somente até o gabarito 5.

Na situação B, em razão dos afastamentos de frente e fundos maiores, os afastamentos laterais computados foram praticamente a metade do obtido na situação A, o que resultou em dois pavimentos nos quais não foi possível garantir desempenho satisfatório. O perímetro de fachada foi de 56m e 44m, em A e B, respectivamente, o que possibilita, para o primeiro, maior área de abertura.

A situação C foi analisada nas variações 1 e 2 e, como resultado, na variação 1 somente o 4º Pa não obteve $sDA \geq 45\%$. Na variação 2, com $TO=64\%$, 3º Pa com ângulo

de 53°, não alcança o mínimo de 48°, necessário para se obter desempenho satisfatório (tabela de correlação e transição). De acordo com a tabela de categorização nas faixas de $sDA \geq 45\%$, no gabarito 5, das variações 1 e 2, os resultados foram de 50% e 66%, respectivamente.

Figura 129 – Relação dos afastamentos e gabaritos dos cenários da Variação 1



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

De acordo com a legislação de Florianópolis, o cenário de gabarito 16 (IA=3,2) deve computar afastamento mínimo de 9,6m ($H=48/5$) para o lote do estudo de 1.050m² e testada de 30m, o que inviabiliza a utilização dessa configuração nas condições estabelecidas para a pesquisa (edificação com 10,80m sendo definido mínimo de 14 metros), uma vez que só permite a ocupação de 17% da área de projeção do lote.

No estudo das tipologias de bloco isolado no lote, o cenário de gabarito 16, com TO=30% (IA= 4,8 e afastamento de 7,3m) obteve sDA_{edif} exatamente igual a 45%, mas os valores de sDA_{pavto} foram garantidos somente do pavimento 11 ao 16, computando-se na faixa de $sDA \geq 45\%$ valor de 40%. Os cenários de gabaritos 15 ($sDA_{edif}=46\%$, 14 ($sDA_{edif}=48\%$) e 13 ($sDA_{edif}=49\%$) computaram, na faixa de $sDA \geq 45\%$, valores de 43%, 46% e 50%.

Comparando com os resultados de desempenho da edificação simulados no estudo da tipologia do bloco isolado, o cenário de gabarito 7 da prefeitura, de TO=44%, poderia alcançar TO=50% e, ainda assim, manteriam valores de sDA_{edif} satisfatórios. O cenário de gabarito 4, de TO=64%, poderia alcançar 70%, considerando os valores de sDA da edificação.

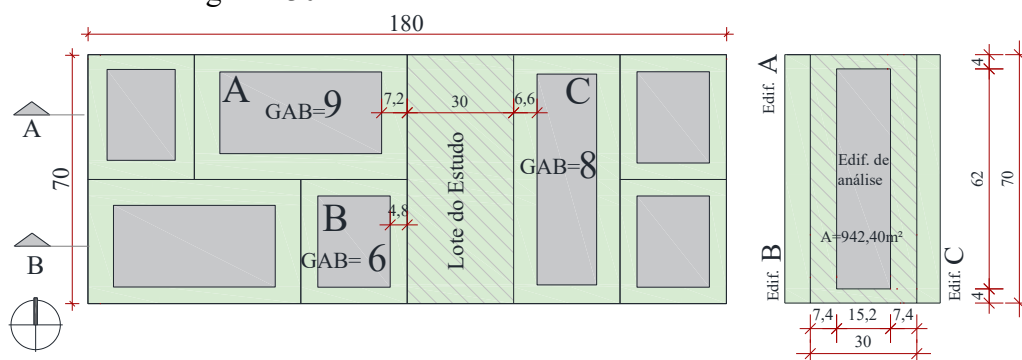
Assim, observa-se que é possível obter resultados de desempenho satisfatórios da edificação, a partir da configuração urbana de valores acima dos permitidos por essa legislação.

4.4.1.2 Situação 2 – Lote com entorno obstruído

No segundo estudo, o lote de 70x30m, computando um total de 2.100m², foi inserido em uma quadra com entorno já consolidado. Com o uso da tabela de correlação e transição dos resultados obtidos na pesquisa, foi possível identificar os resultados de desempenho por pavimento Figura 130. Para a análise, foram definidos a taxa de ocupação de 45% e o índice de aproveitamento de 4,7. A área de projeção máxima foi de 942,4m².

Atentando-se para atingir a área de construção máxima permitida, o gabarito que possibilitou o maior aproveitamento do lote foi o 10. Nos lotes do entorno, na orientação oeste, foram implantadas uma edificação de gabarito 9 (A) e outra de 6 (B). Na orientação leste, por sua vez, tem-se uma edificação de gabarito 8 (C). Na orientação sul e norte, as fachadas estão voltadas para o sistema viário.

Figura 130 – Cenário do lote de entorno consolidado



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

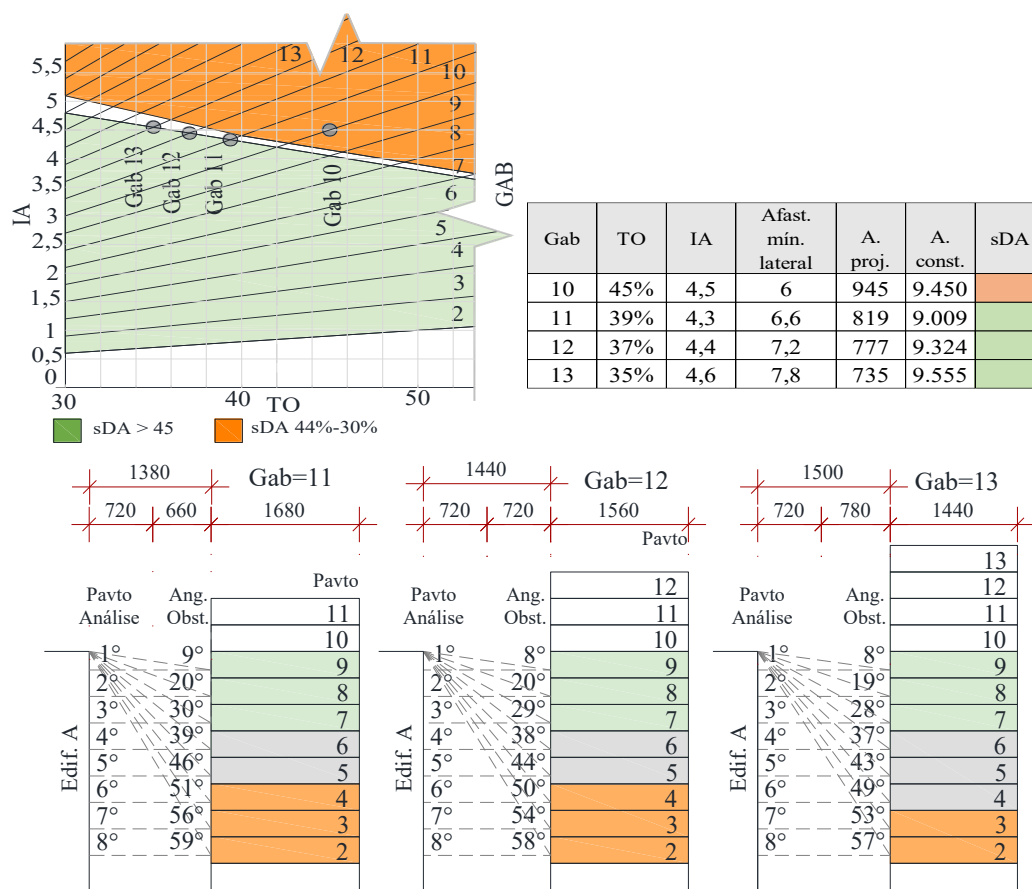
Observadas as edificações do entorno, e considerando-se os afastamentos mínimos exigidos pela legislação municipal de Florianópolis, de 6 metros, a edificação de análise foi inserida, numa primeira opção de implantação, centralizada no lote, o que resultou em uma largura de 15,2 e profundidade de 62 metros. Não foi necessário utilizar o afastamento mínimo, pois com 7,4 metros já tinha sido alcançada a área de projeção máxima.

Para iniciar o estudo foram empregados os três passos para a utilização dos resultados da pesquisa: (1) identificar o desempenho do cenário criado no diagrama

Spacemate (valor de sDA_{edif}); (2) calcular o ângulo de obstrução vertical dos pavimentos, e (3) consultar a tabela de correlação e de transição.

Na consulta do *diagrama Spacemate* do bloco isolado no lote, verificou-se que o cenário de gabarito 10, $IA=4,7$ e $TO=45\%$ encontra-se na faixa de valor de $sDA_{edif}=44\%$ a 30% e $OSR=0,1$, conforme mostra a Figura 131. Entretanto, observa-se que outros cenários com configurações similares obtiveram resultados de sDA_{edif} satisfatórios, como é o caso dos gabaritos 11, 12 e 13.

Figura 131 – Análise dos cenários 10 a 13 considerando o bloco isolado no lote



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

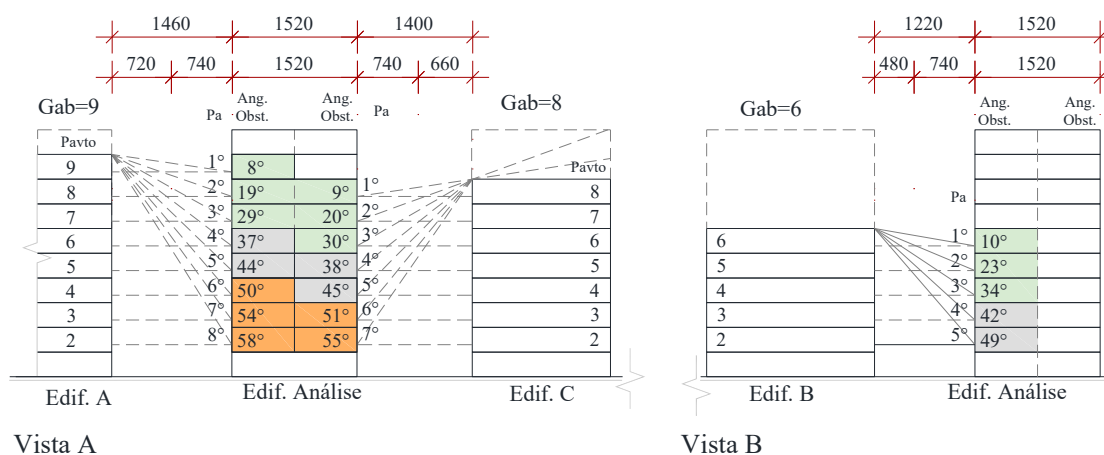
No entorno imediato com a edificação A, o 1º Pa, considerado o primeiro obstruído, foi o gabarito 9, nos cenários de gabarito 11, 12 e 13; sendo assim, os pavimentos 10 e 11, 10 e 12, e 10 e 13 ficaram livres de obstruções.

No gabarito 13, em dois pavimentos não foi possível garantir o desempenho da luz natural no interior dos ambientes, o que, de acordo com as tabelas de transição e correlação, é a condição em que os pavimentos obtiveram valores iguais ou maiores que

50°. Nos três cenários foram computados três pavimentos satisfatórios (valores do ângulo de obstrução igual ou menor que 34°), sendo que no gabarito 13, com maior área construída, mas menor área de projeção, foi alcançado um pavimento transitório a mais que nos demais.

Contudo, mesmo observando no diagrama o valor de sDA_{edif} não satisfatório, prosseguiu-se a análise do cenário de gabarito 10 (em relação à edificação A Figura 132 – Vista A) e, como resultado, na tabela de transição do bloco isolado no lote, identificou-se que no 1°, 2° e 3° Pa, os resultados de desempenho são satisfatórios para ângulos até 34°. O 4° Pa é de transição e no 5°, se o ângulo de obstrução for $\geq 50^\circ$, os resultados serão de $sDA_{edif} < 45\%$. Assim, foram computados três pavimentos não satisfatórios em relação à edificação A e dois em relação à edificação C.

Figura 132 – Análises do cenário de entorno consolidado – Opção 1

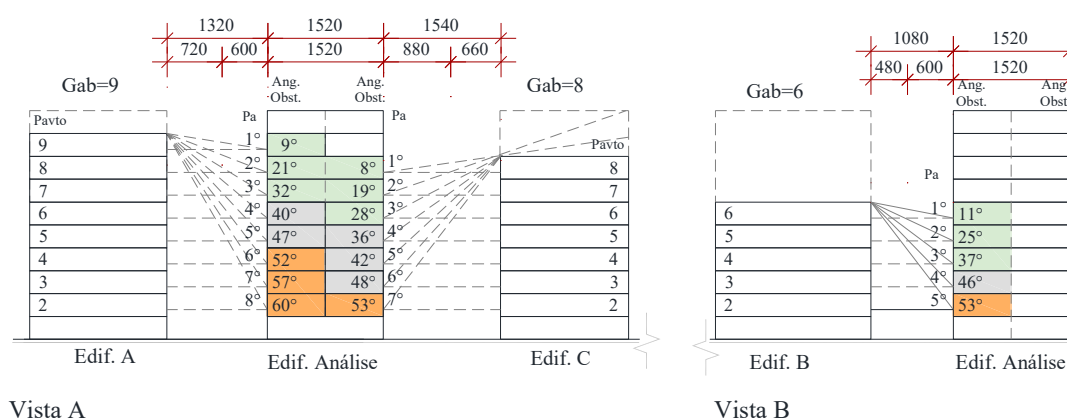


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Na vista B (Figura 132 – Vista B), ainda na orientação oeste, na análise em relação à edificação B, com gabarito 6, o 5° Pa computou ângulo menor ou igual a 50° e, assim, em nenhum pavimento foi computado valor de $sDA < 45\%$.

Dessa maneira, propõe-se, ainda, mais uma maneira de implantação (Figura 133 - *Opção 2*), considerando afastamento mínimo de 6 metros em relação à fachada oeste, o que resultou em um aumento de 1,4 metros de distância da fachada leste (relação com edificação C, de 7,40 metros para afastamento igual a 8,8 metros). Nessa opção, foram computados na edificação de análise ainda três pavimentos não atendidos, mas quando analisada em relação à edificação C, somente um pavimento foi computado como não satisfatório. Por outro lado, em relação à edificação B, que tinha obtido todos os pavimentos atendidos, o pavimento 2 tornou-se não satisfatório.

Figura 133 – Análises do cenário de entorno consolidado – Opção 2



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Os diagramas (do bloco isolado no lote e das tipologias de bloco isolado na quadra, ocupação perimetral, edificações laminares paralelas e tipologia híbrida) apresentam os resultados de desempenho da edificação de diversas configurações urbanas simultaneamente (combinação do IA, TO e gabarito). Para escolher a configuração mais adequada para uma determinada situação, através da consulta dos ângulos máximos e a porcentagem de céu visível mínima nas tabelas dos resultados da pesquisa, é possível verificar o desempenho de todos os pavimentos de análise, adequando a implantação, o programa de necessidades e a função dos ambientes, a fim de melhor atender o desempenho da luz natural no interior dos ambientes de análise.

4.4.2 Análise de desempenho com a utilização de índices informativos: a quadra aberta

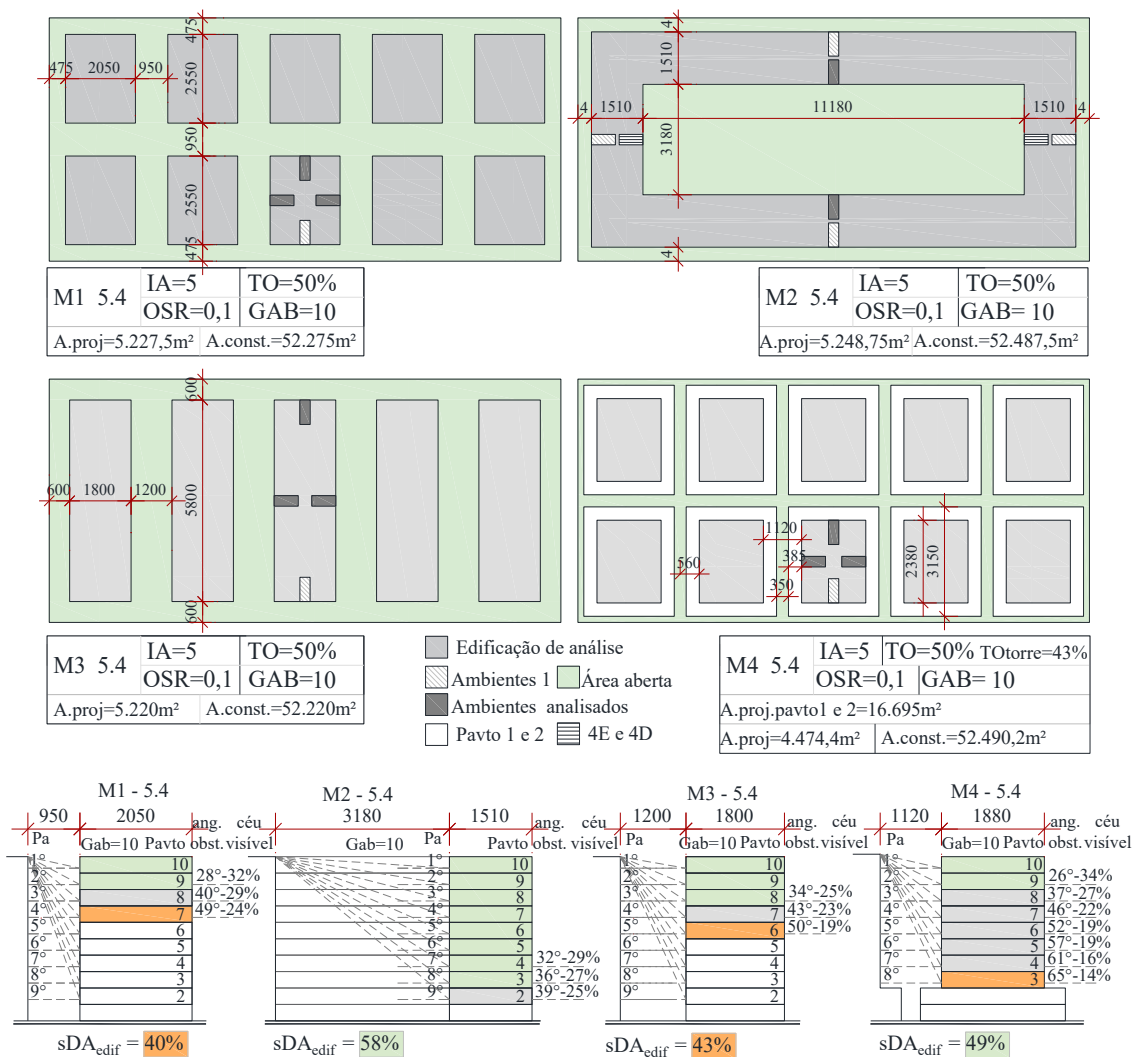
Os espaços urbanos que não estão totalmente obstruídos e as novas áreas em transformação das cidades possibilitam grandes oportunidades de desenvolver estudos com maior qualidade, pois além de projetar a edificação considerando os preceitos da luz natural, podem minimizar as obstruções causadas no entorno imediato, melhorando assim os resultados de desempenho. Nesta parte da pesquisa foi analisado um modelo de quadra aberta, concebida de maneira aleatória.

Para a criação da quadra aberta, foi considerada como base a configuração urbana do cenário 5.4 e os resultados comparados com este cenário, das quatro tipologias de quadra (gabarito 10, IA=5 e TO=50%). Na quadra aberta, o índice de aproveitamento máximo foi mantido igual a 5, assim como os afastamentos mínimos das edificações em relação ao entorno, conforme a legislação do município de Florianópolis. Entretanto, em relação ao número máximo de pavimentos (gabarito) e à taxa de ocupação máxima, não se atentou para os valores máximos de 10 e 50%.

O intuito de estabelecer essas condições nas análises é o de permitir maior flexibilidade na composição das edificações e geometrias criadas, a fim de que, com mesma área construída total, consiga-se atingir maior desempenho de luz natural no interior dos ambientes. Dessa maneira, os índices urbanísticos normativos (TO, IA, gabaritos máximos) são associados aos valores de desempenho (valores de desempenho da luz natural – sDA, simulados e correlacionados com outras variáveis para o controle do solo urbano como o ângulo de obstrução, porcentagem de céu visível e índice de espaço aberto).

Nos cenários 5.4 do M1, M2, M3 e M4 e tipologia de bloco isolado no lote (TO=50%), a área de projeção, a área construída e o gabarito são os mesmos, sendo diferenciados apenas pela forma como as edificações foram dispostas na quadra (Figura 134).

Figura 134 – Análise dos cenários 5.4 das quadras e bloco isolado no lote



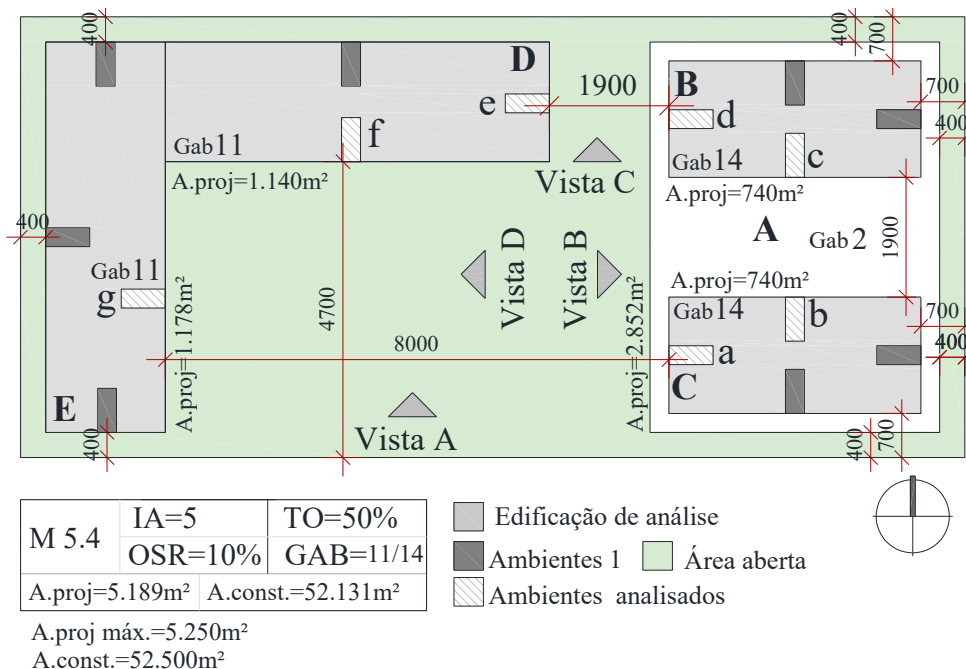
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Verificando os valores de desempenho da edificação obtidos no diagrama *Spacemate*(sDA_{edif}), o M2 e o M4 resultaram em valores satisfatórios de 58% e 49%. Os limites dos ângulos de obstrução vertical foram iguais a 49% (no 4° Pa), 52% (11° Pa), 50% (5° Pa) e 63% (no 7° Pa), para M1, M2, M3 e M4. Quanto maior o número de pavimentos de análise, mais pavimentos foram atendidos, confirmando-se, assim, os resultados mais significativos para o M2, seguidos de M4, M3 e M1.

Na quadra aberta, criada de forma aleatória, os edifícios “B” e “C” foram definidos como salas de serviço, considerando o pavimento térreo para comércio e o pavimento 2 para o uso de garagens – “A”) (pavimentos 1 e 2 diferenciados, com as torres paralelas

entre si). As edificações “D” e “E” formam uma edificação de geometria em “L”, possuindo somente um encontro com a fachada da própria geometria (canto) (Figura 135).

Figura 135 – Planta baixa da quadra aberta



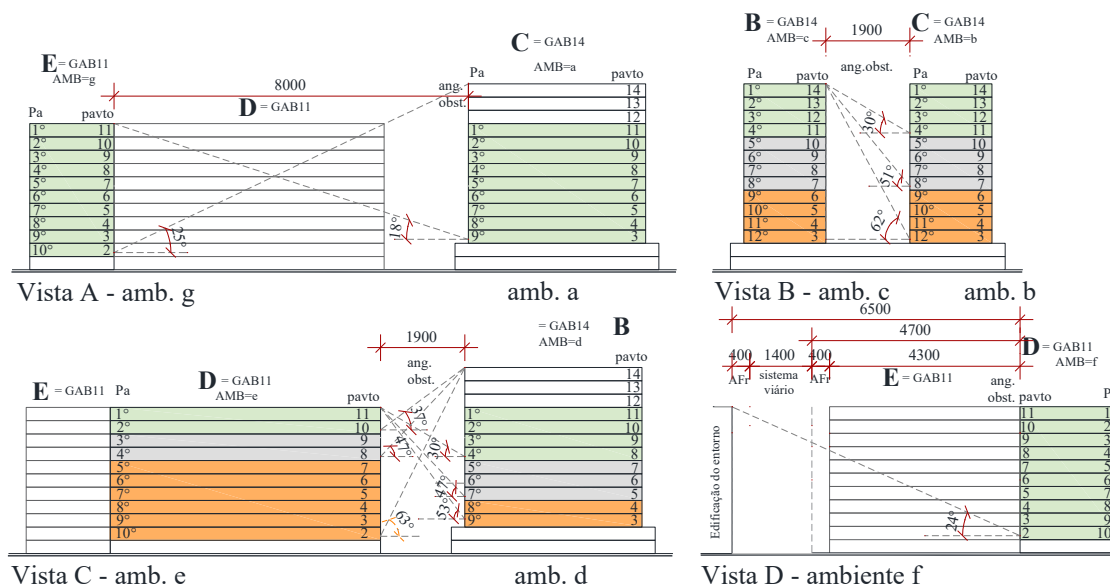
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Não foi calculado o céu visível para edificações em “L”, mas foi para o M2 (ocupação perimetral geminada), que é considerada uma condição mais restritiva. Assim, nesse caso, para consultar o ângulo de obstrução e a porcentagem de céu visível, foi utilizada a tabela do M2 – TO=50% a 59%. Nos ambientes “g” e “a” foram computados ângulos iguais a 25° e 18°, no 10° Pa e 9° Pa, referentes à vista A (Figura 136), sendo em todos os pavimentos computados valores satisfatórios.

Na vista B (Figura 136), o afastamento entre as edificações B e C (ambientes “c” e “b”) foi igual a 19 metros, valor superior quando comparado com os cenários 5.4 das quatro tipologias das quadras do estudo. Para essas edificações, foram consultados os valores do ângulo máximo de obstrução e a porcentagem mínima de céu visível do M3 (edificações paralelas laminares) e, como resultados, até o 4° Pa foram garantidos, sendo computado ângulo de obstrução de 30°. A partir do 9° Pa, com ângulo de 51°, os pavimentos já não foram mais atendidos.

Na vista C, (Figura 136), para as edificações D e B (ambientes “e” e “d”), a tabela do M1 foi utilizada e, com os resultados mais restritivos, o ambiente “e” obteve 60% com resultado não satisfatório, mas se observa que é a fachada de menor perímetro. Na vista D (Figura 136) referente ao ambiente f, todos os pavimentos obtiveram resultados satisfatórios.

Figura 136 – Planta baixa do cenário criado de quadra aberta



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Comparando os resultados obtidos da quadra aberta em relação aos cenários 5.4 das tipologias das quadras analisadas na pesquisa, observaram-se resultados significativamente maiores para todos os ambientes da quadra aberta. Ressalta-se que, neste estudo, a área construída (IA=5) é igual em todos os cenários, assim como a taxa de ocupação. Atentou-se por considerar os afastamentos mínimos obrigatórios. O valor do índice de espaço aberto de ambos os cenários foi igual a 0,1.

Entretanto, para utilizar gabarito acima de 12 na legislação municipal de Florianópolis, é necessária a compra de índices, e para alcançar o gabarito 14 utilizado na quadra, a taxa de ocupação máxima permitida é de somente 35%.

Desse modo, com maior área de projeção e maior gabarito das edificações, na quadra aberta, através dos resultados de desempenho, foi possível controlar o uso e a ocupação do solo, respeitando o valor mínimo de índice de aproveitamento igual a 0,1 e correlacionando os ângulos limites encontrados nas diferentes faixas definidas na

pesquisa, e a porcentagem mínima de céu visível das diferentes faixas definidas na pesquisa, para obter resultados satisfatórios de luz natural no interior do ambiente construído.

4.4.3 Apresentação esquemática dos principais resultados

Esta pesquisa analisou a influência da forma urbana na disponibilidade de luz natural no ambiente construído, considerando diferentes tipologias arquitetônicas e configurações urbanas.

A primeira etapa teve como objetivo criar cenários para a realização de simulações paramétricas, identificando diferentes formas urbanas que garantiriam a luz natural no interior dos ambientes. A medida dinâmica, a Autonomia Espacial da Luz Natural – $sDA_{300,50\%}$, considerando o valor de 300 lux, para 50% de horas de operação no ano, foi simulada para os diferentes modelos de quadra analisados: (1) bloco isolado no lote; (2) blocos isolados na quadra – M1; (3) quadra de ocupação perimetral – M2; (4) quadra com edifícios laminares – M3, e (5) quadra híbrida (torres isoladas com pavimentos 1 e 2 diferenciados).

Os cenários propostos na tipologia de bloco isolado no lote foram criados a partir dos valores de $TO=30\%$, 40% , 50% , 60% , 70% e 80% , e nas tipologias de quadras em relação aos valores de índice de aproveitamento de 1 a 7. Os ambientes internos para as análises foram divididos em (a) ambientes 1, voltados para o sistema viário; (b) os ambientes 2E e 2D, voltados para as obstruções laterais; (c) os ambientes 3, voltados para os fundos, e (d) os ambientes 4, voltados para um pátio interno. Como a pesquisa visa analisar as situações mais restritivas, foram considerados somente os ambientes obstruídos nas análises: (a) no M1 e no M4 – ambientes 2E+2D+3; (b) no M2 – 4Fr+4Fu, e (c) no M3 – ambientes 2E+2D.

A etapa 2 analisou a influência do índice de espaço aberto – OSR no desempenho da luz natural no interior dos ambientes. A etapa 3 teve o intuito de determinar o ângulo máximo de obstrução vertical e a porcentagem mínima de céu visível, correspondente ao menor valor estipulado de desempenho da Autonomia Espacial da Luz natural – sDA .

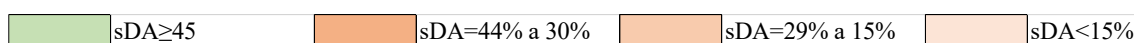
E por fim, a quarta etapa da pesquisa consistiu na criação de novos cenários, de diferentes configurações urbanas e disposições das edificações na quadra, para usar os resultados da pesquisa e testar a combinação dos índices normativos tradicionais e os índices informativos.

A seguir, os principais resultados da pesquisa estão apresentados de maneira resumida, sendo que os discriminados estão nos apêndices, no fim do trabalho.

4.4.3.1 Desempenho da luz natural no interior do ambiente construído

O sDA foi avaliado segundo os valores de (a) sDA da edificação – sDA_{edif} , (b) sDA dos pavimentos – sDA_{pavto} e (c) sDA dos ambientes – sDA_{amb} . Com base na literatura, a edificação, o pavimento e/ou o ambiente que alcançou valor de $sDA \geq 45$ teve resultado considerado satisfatório (*Figura 137*).

Figura 137 – Faixas de valores de sDA



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Os ambientes que computaram valores de $sDA < 45\%$ não alcançaram desempenho satisfatório e, assim, foram divididos na faixa de valores de $sDA = 44\%$ a 30% (laranja escuro), $sDA = 29\%$ a 15% (laranja intermediário) e $sDA < 15\%$ (laranja claro). Se ambos os resultados foram considerados num mesmo pavimento (faixa de $sDA \geq 45\%$ e $sDA < 45\%$), este foi denominado de transição, representado nas tabelas pelos resultados na cor cinza.

Os resultados do sDA_{edif} (média de todos os valores de sDA_{pavto} da edificação de análise) da tipologia de bloco isolado no lote estão apresentados na *Tabela 16*, sendo ilustrados na cor verde os que computaram valores de $sDA_{edif} \geq 45\%$.

Tabela 16 - Resumo sDA_{edif} da tipologia de bloco isolado no lote

sDA_{edif}											
TO=30%		TO=40%		TO=50%		TO=60%		TO=70%		TO=80%	
Gab 17 a 22	Gab 2 a 16	Gab 11 a 22	Gab 2 a 10	Gab 8 a 22	Gab 2 a 7	Gab 6 a 22	Gab 2 a 5	Gab 5 a 22	Gab 2 a 4	Gab 3 a 22	Gab 2
Legenda:		Todos os cenários simulados obtiveram resultados de $sDA \geq 45$									
		Todos os cenários simulados obtiveram resultados de $sDA < 45-0$									

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Em relação às tipologias das quadras, na *Tabela 17*, os quadros sem descrições significam que, num mesmo valor de IA, todos os cenários foram computados com valores de $sDA \geq 45\%$ ou $sDA < 45\%$, como é o exemplo no IA 1 e 2 (todos os modelos com $sDA \geq 45\%$) e no IA 5, 6 e 7 ($sDA < 45\%$ para todos os cenários do M1 e do M3).

Tabela 17 - Resumo sDA_{edif} das tipologias das quadras

sDA_{edif}												
Modelos Quadras	IA 1	IA 2	IA 3		IA 4		IA 5		IA 6		IA 7	
	$TO_{máx}$	$TO_{máx}$	$TO_{máx}$		$TO_{máx}$		$TO_{máx}$		$TO_{máx}$		$TO_{máx}$	
M1			75 (gab 4)	60 (gab 5)	50 (gab 8)	44 (gab 9)						
M2					80 (gab 5)	67 (gab 6)			75 (gab 8)	67 (gab 9)	70 (gab 9)	78 (gab 10)
M3					67 (gab 6) - $sDA=45\%$							
M4							63 (57) (gab 8)	56 (46) (gab 9)	40 (34) (gab 15) - $sDA=45\%$			
Legenda:		Todos os cenários simulados obtiveram resultados de $sDA \geq 45$										
		Todos os cenários simulados obtiveram resultados de $sDA < 45$										
		M4 = (TO= total) (TO = torre)										

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Nos modelos em que foram computados ambos os resultados (satisfatório e não satisfatório), a tabela exhibe o cenário que computou o maior valor na faixa de $sDA=44\%$ a 30% e o cenário que computou o menor valor na faixa de $sDA \geq 45\%$, como é o exemplo no IA 4 do M1, com cenários de gabarito 8 (TO=50%, $sDA_{edif}=44\%$) e gabarito 9 (TO=44%, $sDA_{edif}=46\%$).

Em relação aos valores de sDA_{pavto} , os resultados da tipologia de bloco isolado no lote na Tabela 18.

Tabela 18 - Resumo sDA_{pavto} do bloco isolado no lote

Análise da categorização das faixas de valores de sDA_{pavto} - Bloco isolado no lote																					
Gab	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
30%																					
sDA_{edif}	74	69	67	63	61	58	56	55	53	51	50	49	48	46	45	44	43	42	42	41	40
IA	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,1	5,4	5,7	6	6,3	6,6
40%																					
sDA_{edif}	73	68	63	59	56	52	49	47	45	43	41	40	39	37	36	34	34	33	32	31	30
IA	0,8	1,2	1,6	2	2,4	2,8	3,2	3,6	4	4,4	4,8	5,2	5,6	6	6,4	6,8	7,2	7,6	8	8,4	8,8
50%																					
sDA_{edif}	71	63	58	54	50	46	43	40	38	36	34	33	31	30	28	27	26	25	25	23	23
IA	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	11	11
60%																					
sDA_{edif}	67	59	53	47	43	39	36	33	30	29	27	25	24	22	21	20	19	18	17	17	16
IA	1,2	1,8	2,4	3	3,6	4,2	4,8	5,4	6	6,6	7,2	7,8	8,4	9	9,6	10	11	11	12	13	13
70%																					
sDA_{edif}	63	52	45	39	35	31	27	25	23	21	19	17	16	15	14	13	12	12	11	11	10
IA	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6	6,3	7	7,7	8,4	9,1	9,8	11	11	12	13	13	14	15	15
80%																					
sDA_{edif}	57	44	35	29	25	21	18	15	14	12	11	10	10	9	8	8	7	7	6	6	6
IA	1,6	2,4	3,2	4	4,8	5,6	6,4	7,2	8	8,8	9,6	10	11	12	13	14	14	15	16	17	18

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

O sDA_{pavto} representa a média dos ambientes obstruídos (2, 3 e 4) de cada pavimento de um determinado cenário. Na categorização das faixas de valores de sDA , o cenário mais significativo (maior porcentagem na faixa de $sDA \geq 45\%$) e o mais restritivo (maior porcentagem nas faixas de $sDA < 45\%$) foram identificados e separados de acordo com os valores de $TO=30\%$, 40% , 50% , 60% , 70% e 80% , na tipologia de bloco isolado.

Os resultados da tipologia de bloco isolado no lote, na Tabela 19, estão divididos de acordo com o índice de aproveitamento de 3 a 7.

Tabela 19 - Resumo sDA_{pavto} das quadras

Análise da categorização das faixas de valores de sDA _{pavto}																																										
Quadras	IA 3											IA 4																														
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
M1																																										
sDA _{edif}			42	50	51	52	52	53	53																32	39	43	44	46	46	47	48	48									
M2																																										
sDA _{edif}			60	68	68																				41	62	64	65														
M3																																										
sDA _{edif}			48	55	56	56																			38	45	48	49	49	49												
M4																																										
sDA _{edif}			56	68	68																							50	55	57	58	58										
TO			75	60	50	43	38	33	30																80	67	57	50	44	40	36	33	31									
Quadras	IA 5											IA 6																														
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
M1																																										
sDA _{edif}							30	35	37	40	41	41	42	42	43	43													25	29	32	35	36	36	37	38	39	39	40	40	40	
M2																																										
sDA _{edif}							55	60	61	61																			46	54	57	58	58									
M3																																										
sDA _{edif}							37	40	42	43	44	43																	30	34	36	38	39	40	40	39						
M4																																										
sDA _{edif}							39	44	47	49	49	51	51																30	35	39	41	43	44	44	45	46					
TO							71	63	56	50	45	42	38	36	33	31													75	67	60	55	50	46	43	40	38	35	33	32	30	
Quadras	IA 7																																									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22																					
M1																																										
sDA _{edif}																																										
M2																																										
sDA _{edif}																																										
M3																																										
sDA _{edif}																																										
M4																																										
sDA _{edif}																																										
TO																																										

■	Cenários criados
■	Cenários com resultado mais significativo
■	Cenário com resultados mais restritivos
■	Valores de sDAedif=45%
■	Valores de sDAedif=44% a 30%
■	Valores de sDAedif=29% a 15%

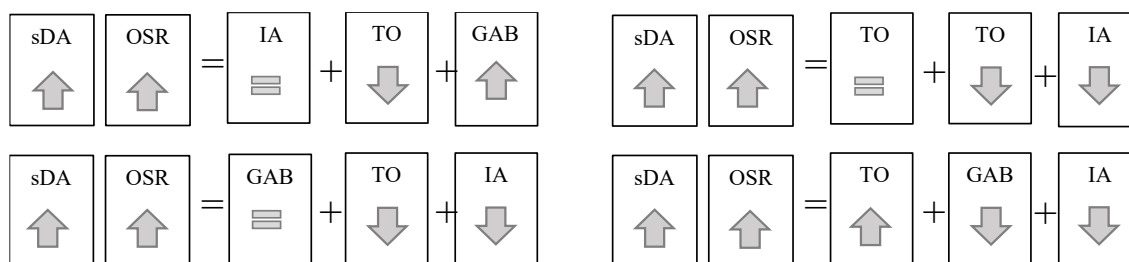
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Para verificar o melhor desempenho entre dois cenários inseridos numa mesma faixa de sDA, foram identificadas quatro relações entre os parâmetros (TO, IA e gabarito), para favorecer os resultados de sDA e OSR, conforme mostra a Figura 138.

A primeira relação resultou da comparação de cenários com o mesmo valor de índice de aproveitamento. Para obter-se os melhores resultados de sDA e OSR, um determinado cenário deve ter a taxa de ocupação diminuída e o gabarito aumentado.

Na segunda relação, os cenários comparados apresentam os mesmos valores de taxa de ocupação. Os resultados de desempenho mais significativos foram encontrados para o cenário de menor índice de aproveitamento e gabarito.

Figura 138 – Relações identificadas entre sDA, OSR e os parâmetros urbanos



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Na terceira relação, o gabarito entre os cenários analisados foi mantido constante e, desta forma, para melhorar os resultados de desempenho e o OSR, os valores de índice de aproveitamento e da taxa de ocupação devem diminuir. E por fim, na relação 4, os resultados de sDA e OSR serão mais significativos na condição em que o gabarito e o índice de aproveitamento diminuam, quando a taxa de ocupação aumentar.

Assim, comparando-se cenários com as mesmas configurações, mas diferentes tipologias arquitetônicas, por exemplo, o de gabarito 9, TO=56% e IA 5, os resultados satisfatórios foram obtidos somente no M2 ($sDA_{edif}=61\%$) e no M4 ($sDA_{edif}=47\%$), o que significa que, para esta configuração urbana, as tipologias do M1($sDA_{edif}=37\%$) e M3 ($sDA_{edif}=42\%$) devem ser evitadas.

Entretanto, no cenário de gabarito 7, TO=43% e IA=3, não foram criados cenários no M2 e no M4 e os resultados foram satisfatórios no M1 ($sDA_{edif}=52\%$) e M3 ($sDA_{edif}=56\%$).

Em cenários de diferentes configurações urbanas do M1, comparando, por exemplo, o cenário de gabarito 10, IA=5 e TO=50% ($sDA_{edif}=40\%$) e o cenário de gabarito 7, IA=4 e TO=57% ($sDA_{edif}=43\%$), o resultado mais significativo para o segundo confirma a relação 4, na condição em que o gabarito e o IA diminuem, quando a TO aumenta.

Não se trata de determinar qual é a melhor tipologia, mas sim verificar, em determinadas condições (configurações), qual se adequa melhor para um determinado projeto.

4.4.3.2 Influência do índice de espaço aberto - OSR

A etapa 2 analisou a influência do índice de espaço aberto – OSR no desempenho da luz natural no interior dos ambientes. A Tabela 20 mostra os valores de OSR correspondentes aos valores de desempenho nas duas faixas de sDA da tipologia de bloco isolado no lote: $sDA \geq 45\%$ e $sDA < 45\%$. Os quadros em branco significam que naquela configuração não foi computado determinado valor de OSR.

Tabela 20 – Resumo dos valores de OSR e sDA do bloco isolado no lote

ORS - Bloco isolado no lote								
TO	OSR \geq 0,6	OSR=0,5	OSR=0,4	OSR=0,3	OSR=0,2	OSR=0,1		OSR=0,0
30%	gab 2 (OSR=1,2) / gab 3 (OSR=0,8) e gab 4 (1,2)	gab 5	gab 6	gab 7 ao 9	gab 10 ao 15	gab 16	gab 17 ao 22	
40%	gab 2 (OSR=0,8)	gab 3	gab 4	gab 5 e 6	gab 7 ao 10	gab 11 ao 22		
50%		gab 2		gab 3 e 4	gab 5 e 6	gab 7	gab 8 ao 20	gab 21 e 22
60%				gab 2	gab 3 e 4	gab 5	gab 6 ao 13	gab 14 ao 22
70%					gab 2	gab 3 e 4	gab 5 ao 8	gab 9 ao 22
80%						gab 2	gab 3 ao 5	gab 6 ao 22
Legenda:	Todos os cenários simulados obtiveram resultados de $sDA \geq 45$							
	Todos os cenários simulados obtiveram resultados de $sDA < 45$							
	Não foi computado determinado valor de OSR							

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Os valores de OSR da tipologia das quadras estão apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 – Resumo dos valores de OSR e sDA das quadras

ORS							
Modelos Quadras	OSR=0,7	OSR=0,5	OSR=0,3	OSR=0,2	OSR=0,1		OSR=0,0
M1					46 (gab9) (IA4) (TO44)	44 (gab8) (IA4) (TO50)	
M2					53 (gab11) (IA7) (TO64)	41 (gab5) (IA4) (TO80)	46 (gab8) (IA6) (TO75) 36 (gab9) (IA7) (TO78)
M3					45 (gab6) (IA4) (TO67)	44 (gab11) (IA5) (TO45)	
M4					45 (gab15) (IA6) (TO40)	44 (gab8) (IA5) (TO63)	
				44 (gab13) (IA6) (TO46)			
				44 (gab14) (IA6) (TO43)			
Legenda:	Todos os cenários simulados obtiveram resultados de $sDA \geq 45$						
	Todos os cenários simulados obtiveram resultados de $sDA < 45$						
	Não foi computado determinado valor de OSR						

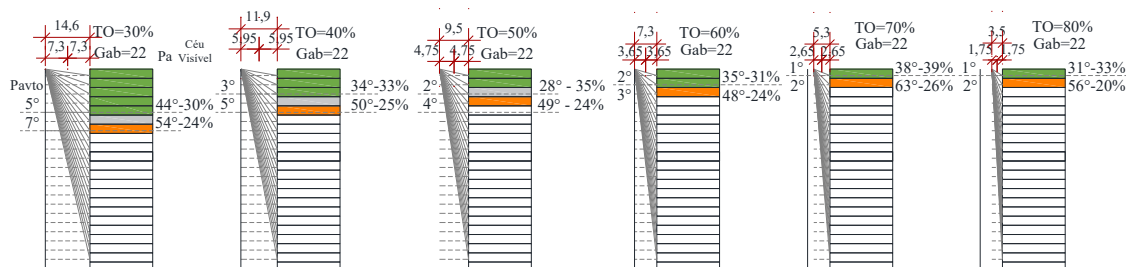
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

As lacunas sem texto significam que todos os cenários simulados em determinado valor de OSR obtiveram resultados na mesma faixa de sDA: $sDA \geq 45\%$ ou $sDA < 45\%$. O único cenário que computou valores de OSR=0,0 e $sDA_{edif} \geq 45\%$ (46%) foi o cenário de gabarito 8, IA=6 e TO=75%, no M2, considerado nessa tipologia de OSR de valor transitório.

4.4.3.3 Correlação do ângulo de obstrução vertical e porcentagem de céu visível

A etapa 3 teve o intuito de determinar o ângulo máximo de obstrução vertical e a porcentagem mínima de céu visível, correspondente ao menor valor estipulado de desempenho da Autonomia Espacial da Luz natural – sDA. A *Figura 139* mostra os valores limites computados da tipologia de bloco isolado no lote do cenário de gabarito 22. Na TO=30%, por exemplo, os pavimentos de análise que obtiveram, no cálculo de obstrução, valores do ângulo entre 53° a 45°, computaram valores transitórios. Os valores iguais ou acima de 54° foram considerados satisfatórios, e nos valores iguais ou abaixo de 44° o desempenho foi garantido.

Figura 139 –Faixas de sDA do ângulo e céu visível no bloco de gabarito 22



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

O resumo dos cálculos do ângulo de obstrução vertical está apresentado na Tabela 22. No M1, da TO=40% a 49%, por exemplo, no 3° pavimento de análise (1°, 2° e 3° pavimentos de análise garantidos), o menor ângulo de obstrução para se garantir desempenho satisfatório deve ser $\leq 38^\circ$ (3° Pa). Os valores $\geq 50^\circ$ (5° Pa) não obterão resultado satisfatório. Os valores entre esses dois ângulos são os transitórios, ambas as respostas podem ser obtidas.

Tabela 22 – Resumo dos resultados dos cálculos do ângulo de obstrução vertical

Ângulo de Obstrução - Valores limites para sDA<45%																											
Pavto Análise	EP TO 30%	M1	M2	M3	M4	EP TO 40%	M1	M2	M3	M4	EP TO 50%	M1	M2	M3	M4	EP TO 60%	M1	M2	M3	M4	EP TO 70%	M1	M2	M3	M4	EP TO 80%	
																											TO=30% a 39%
1°																						≤22°	≤31°	≤23°	≤23°	≤24°	≤31°
2°											≤28°	≤34°					≤35°	≤19°		≤34°	≤19°	≥44°	≥44°			≥56°	
3°						≤34°	≤38°								≤40°	≤32°	48>	48>									
4°		≤42°			≤36°					≤40°	≤37°	≥49°	≥49°								50≥	59≥				≥50°	≥54°
5°	≤44°				≤46°	≥50°	≥50°								≥50°												
6°					≥48°					≥49°											≤43°					≥72°	
7°	≥54°	≥52°												≤38°		≥63°											
8°					≥58°																						
9°										≥63°											≥47°						
10°																											
11°														≥52°													
12°																											
13°																											
ATÉ	21°	21°			17°	18°	21°	16°		16°	15°	21°									21°					21°	21°

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

O resumo das simulações da porcentagem de céu visível está apresentado na Tabela 23, cujos valores são inversamente proporcionais aos resultados do ângulo de obstrução vertical. Quanto maiores são as porcentagens obtidas, maiores são os valores de desempenho.

Entretanto, no M2, além da obstrução do entorno, devido à ocupação perimetral, a obstrução também é proveniente da própria edificação e, nesse modelo, a porcentagem de céu visível não apresentou comportamento inversamente proporcional.

Tabela 23 – Resumo dos resultados das simulações da porcentagem de céu visível

Porcentagem de céu visível - Valores limites																												
Pavto Análise	EP TO 30%	M1	M2	M3	M4	EP TO 40%	M1	M2	M3	M4	EP TO 50%	M1	M2	M3	M4	EP TO 60%	M1	M2	M3	M4	EP TO 70%	M1	M2	M3	M4	EP TO 80%		
																											TO=30% a 39%	
1°																												
2°												≥35%	≥32%				≥28%	≥32%			≥32%	≥39%	≥33%	≥33%	≥23%	≥37%	≥33%	
3°						≥33%	≥31%								≥25%		≤24%	≤30%				≥24%	≥30%	≤26%	≤26%		≤21%	≤28%
4°		≥33%			≥27%					≥24%	≥28%	≤24%	≤29%										≤22%	≤24%				
5°	≥29%				≥26%	≤26%	≤29%								≤21%							≥27%						
6°					≤21%					≤23%																	≤24%	
7°	≤25%	≤27%												≥27%		≤21%												
8°						≤23%																						
9°											≤23%																	
10°																						≤21%						
11°																												
12°																												
13°																≤18%												
ATÉ	21°	21°			17°	18°	21°	16°		16°	15°	21°									21°					21°	21°	

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Mesmo apresentando valores de ângulo de obstrução significativamente menores (melhor situação) do que as demais tipologias, quando analisada a porcentagem de céu visível, nas configurações mais densas, os resultados se igualaram.

Assim, como os cálculos do ângulo de obstrução analisam unicamente a obstrução em relação à edificação localizada frontalmente ao edifício de análise, desconsiderando as obstruções laterais, a porcentagem de céu visível complementou os resultados da pesquisa, levando em conta toda a abóbada celeste.

A etapa 4 consistiu na criação de novos cenários, de diferentes configurações urbanas e disposições das edificações na quadra, para testar os índices normativos tradicionais e os índices informativos (desempenho de performance), utilizando-se os resultados finais da pesquisa, apresentados nas tabelas de correlação e nas tabelas de transição.

No primeiro estudo foi analisada uma edificação inserida num lote de entorno consolidado; no segundo estudo, cenários foram criados consideraram a legislação da cidade de Florianópolis, e, por fim, foi analisada uma quadra aberta, concebida de forma aleatória.

Na quadra aberta foram considerados os afastamentos mínimos permitidos entre edificações (legislação de Florianópolis), todavia, sem atentar para o gabarito e a taxa de ocupação máximos. Para verificar os resultados de desempenho de cada pavimento de análise, os valores dos ângulos calculados foram correlacionados com os resultados obtidos nas tabelas finais da pesquisa.

Constatou-se que os regulamentos normativos não são suficientes para assegurar o bom desempenho, especialmente nos pavimentos inferiores, além de limitar a criação de formas urbanas e arquitetônicas que apresentem condições favoráveis à luz natural.

O intuito dessa parte da pesquisa é verificar se os regulamentos normativos tradicionais podem ser utilizados em conjunto com os critérios performativos (resultados de desempenho – OSR, ângulo de obstrução e porcentagem de céu visível) com o objetivo de melhorar a disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes, de maneira a não ser necessário estipular valores máximos de alguns índices urbanísticos, como o gabarito e a taxa de ocupação. Entretanto, vale ressaltar que estes índices não servem apenas para regular aspectos de iluminação natural (tema da tese), mas, também, paisagem, densidade, permeabilidade do lote, estética, etc.

5 CONCLUSÕES

5.1 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As formas urbanas são criadas a partir das diferentes disposições entre as edificações e das diversas combinações das configurações urbanas. Considerando a dinâmica das cidades, em constante expansão, o surgimento de novas edificações gera impactos pelas obstruções, que reduzem o desempenho da luz natural, interferindo na qualidade e produtividade das atividades realizadas no interior dos ambientes.

Diante dessa realidade, evidencia-se a relevância do planejamento das cidades na criação das formas urbanas e na disponibilidade de luz natural. Por outro lado, torna-se importante avaliar se os regulamentos correntes seriam suficientes para garantir a luz natural no interior dos ambientes, especialmente em áreas altamente densas.

As regras urbanas, em certa medida normativas, limitam os recuos e afastamentos das edificações do entorno, incentivando o uso da tipologia do bloco isolado no lote. O índice de aproveitamento, por sua vez, estimula a geometria da edificação para utilizar ao máximo o potencial construtivo. Já o gabarito alto exige maiores afastamentos entre as edificações, o que pode diminuir a taxa de ocupação, impedindo o alcance da área de projeção máxima permitida.

Dessa maneira, esses parâmetros caracterizadores da forma urbana, ao determinarem valores mínimos, por um lado, controlam o uso e a ocupação do solo urbano e, por outro, limitam a disposição dos arranjos espaciais e a geometria das edificações, que poderiam ser concebidas para favorecer a disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes.

Para analisar a luz natural no interior dos ambientes inseridos nos cenários criados, a combinação do uso conjunto dos índices normativos tradicionais (valores máximos de índice de aproveitamento –IA, taxa de ocupação – TO e gabarito), com os índices informativos (desempenho performativo) como resultado, obteve valores significativamente maiores de desempenho. Para tanto, a estratégia sugerida na tese foi a utilização de alguns parâmetros urbanos considerando os valores máximos, como é o caso

do índice de aproveitamento, mas, por outro lado, permitindo uma maior autonomia na taxa de ocupação, e o caso do gabarito, que foi limitado de acordo apenas com os afastamentos mínimos estabelecidos pelas regras urbanas. O uso do solo urbano, controlado pelo índice de aproveitamento, sem considerar valores mínimos de taxa de ocupação e gabarito, permitiu a criação de maior variedade de geometrias arquitetônicas e configurações urbanas. A partir daí, esta tese investigou a influência da forma urbana na disponibilidade de luz natural no interior do ambiente construído.

Para tanto, considerando as tipologias arquitetônicas utilizadas para compor um espaço urbano, foram escolhidos, para a criação dos cenários, primeiramente, modelos mais comuns encontrados na cidade de Florianópolis: o bloco isolado no lote e a tipologia híbrida de blocos isolados na quadra com 1º e 2º pavimentos diferenciados (M4). Considerando a literatura estudada, foram adicionados mais dois modelos para o estudo da quadra: a ocupação perimetral (M2) e as edificações laminares paralelas (M3). Todas expressas a partir de diferentes configurações urbanas (índice de aproveitamento – IA, taxa de ocupação – TO e gabarito).

A pesquisa foi dividida em quatro etapas: (1) simulação paramétrica do desempenho da luz natural nos ambientes internos inseridos nos cenários urbanos criados, (2) influência do índice de espaço aberto no desempenho da luz natural, (3) correlação do ângulo de obstrução vertical e da porcentagem de céu visível, com os resultados de desempenho e (4) aplicação dos resultados da pesquisa para testar a combinação dos índices normativos e informativos.

Essas etapas referem-se aos quatro objetivos específicos da tese, conforme resultados apresentados a seguir.

5.1.1 ETAPA 1

A etapa 1 da pesquisa teve como objetivo a realização de simulações paramétricas dos cenários de diferentes tipologias arquitetônicas, identificando as combinações dos parâmetros urbanos que garantiriam a luz natural no interior dos ambientes.

A disponibilidade de luz natural foi verificada através da simulação da medida dinâmica Autonomia Espacial da Luz Natural – $sDA_{300,50\%}$, considerando-se o valor de 300 lux para 50% de horas de ocupação no ano, e utilizando-se dos dados climáticos da cidade de Florianópolis. Com base na literatura, como desempenho satisfatório da luz natural no interior dos ambientes, foi definido o valor mínimo de $sDA=45\%$, sendo analisadas a média do desempenho dos ambientes (sDA_{pavto}) e a média dos pavimentos (sDA_{edif}).

No bloco isolado, a edificação de análise foi centralizada no lote, ocupando taxas de 30%, 40%, 50%, 60%, 70% e 80% e gabaritos 2 a 22, resultando nos índices de aproveitamento de 0,6 a 17,5. Os cenários foram considerados homogêneos, tendo as edificações de análise mesma altura das edificações do entorno.

Na criação dos cenários das tipologias de quadras, as edificações foram dispostas equidistantes uma das outras, a partir dos índices de aproveitamento de 1 a 7, sendo consideradas somente as configurações resultantes das taxas de ocupação entre 30% e 80% e gabarito de 2 a 22.

Em razão das especificidades na disposição das edificações das tipologias analisadas, não foi possível criá-las dentro desses limites estabelecidos para a pesquisa. Isso ocorreu porque, ainda que se considerem os mesmos parâmetros urbanos (IA, TO e gabarito), o ordenamento das edificações gera geometrias que determinam a largura e a profundidade das fachadas, que devem ser controladas, para garantir a incidência da luz natural no interior dos ambientes. A maior flexibilidade na composição permitiu aumentar a distância entre as edificações, diversificando a relação dos espaços abertos e construídos.

Os resultados de desempenho de todos os cenários criados para a pesquisa foram apresentados, graficamente, no diagrama *Spacemate*, apresentando diversas formas urbanas. No eixo “x” foram inseridos os valores correspondentes às taxas de ocupação; no eixo “y”, os valores dos índices de aproveitamento e, na diagonal, os gabaritos, que, interligados, resultaram nas áreas de $sDA \geq 45\%$, considerados os cenários que apresentaram resultados satisfatórios. As áreas que delimitaram os cenários que obtiveram valor de $sDA < 45\%$ não atingiram resultado satisfatório e foram divididas em três faixas de valores de $sDA=44\%$ a 30%, $sDA=29\%$ a 15% e $sDA \leq 14$. Cada tipologia

teve seus resultados apresentados, simultaneamente, em diferentes diagramas, o que permitiu a escolha da configuração urbana mais adequada para um determinado projeto arquitetônico.

No bloco isolado no lote, constatou-se que, a partir dos gabaritos de 16, 10, 7, 5, 4, e 2, das taxas de ocupação de 30%, 40%, 50%, 60%, 70% e 80%, os valores de desempenho médio dos pavimentos (sDA_{edif}) não foram garantidos, indicando que essas configurações devem ser evitadas, pois os ambientes encontram-se tão obstruídos que não propiciam a luz natural adequada no interior dos ambientes.

Além do desempenho das edificações dos cenários inseridos nos diagramas, os valores de desempenho dos pavimentos foram categorizados e classificados de acordo com as faixas de sDA . Foi possível identificar os cenários mais significativos de cada configuração urbana, especialmente o que obteve melhor aproveitamento (IA) associado à melhor ocupação do lote (TO), considerando pelo menos 50% dos pavimentos atendidos. As configurações urbanas de destaque foram os gabaritos 7 (TO=30%), 5 (TO=40%), 4 (TO=50%). Os cenários que computaram pelo menos 50% dos pavimentos atendidos foram os gabaritos 2 ao 13 (TO=30%), 2 ao 9 (TO=40%), 2 ao 7 (TO=50%), 2 ao 5 (TO=60%) e 2 e 3 (70% e 80%).

Em relação às quadras, o modelo 1 – M1, de blocos isolados na quadra, justamente a tipologia mais comum nas cidades brasileiras, apresentou os resultados de desempenho mais restritivos quando comparados às demais tipologias, considerando as mesmas configurações urbanas, com os menores afastamentos entre edificações.

A disposição dessa tipologia faz com que três das suas fachadas (duas laterais e fundos) fiquem obstruídas pelo entorno. Constatou-se uma melhora de desempenho de 18% para os ambientes de frente (sul), voltados para o sistema viário, quando comparados com os ambientes obstruídos. Entre os ambientes obstruídos, os laterais (leste e oeste) apresentaram uma melhora de 13%, em relação aos ambientes de fundos (norte), não mostrando diferença percentual significativa entre os ambientes laterais voltados para as diferentes orientações.

No M1, os cenários que se encontram dentro dos intervalos da taxa de ocupação de 30% a 60%, gabarito 5 a 13 e índice de aproveitamento igual a 3 e 4, obtiveram pelo menos 50% dos pavimentos atendidos, com destaque para o gabarito 8 (TO=38% e IA=3)

e o gabarito 13 (TO=31% e IA=4), os cenários que obtiveram maior área construída e maior área de ocupação.

A tipologia híbrida (M4), também de blocos isolados, difere do M1 apenas pelo 1º e 2º pavimentos destinados a garagem e/ou comércio e pela taxa de ocupação fixa em 80%. Essa modificação resultou na diminuição da taxa de ocupação das torres (pavimentos tipo) para manter a mesma área construída total. Por isso, no M4, os afastamentos entre as edificações foram maiores e os resultados de desempenho mais significativos do que no M1. Constatou-se que a diferença percentual de desempenho entre essas tipologias diminuiu de acordo com o aumento da densidade e da obstrução. Considerando a média de todos os cenários simulados para um determinado índice, foi obtida uma diferença de 12% no índice 4, enquanto que, no índice 7, o mais denso da pesquisa, foi de apenas 5%.

No M4, destacaram-se os índices 4 e 5, valores mais elevados que no M1, especialmente os cenários de gabarito 10 (TO=40%, do pavimento 3 ao 10) e 12 (TO=42%, do pavimento 5 ao 12), respectivamente. Nestes índices, entre as taxas de 38% a 67% e gabarito 6 ao 13, pelo menos 50% dos pavimentos foram atendidos.

Em relação às edificações laminares paralelas (M3), as duas maiores fachadas encontram-se nas laterais, que são obstruídas pelo entorno. O cenário mais significativo foi o de gabarito 8 (TO=50% e IA= 4). Nesse índice, entre as taxas de 40% a 57% e gabarito 7 ao 10, pelo menos 50% dos pavimentos foram atendidos.

Quando comparados os cenários do M3 com os do M4, verificou-se que, nos índices de aproveitamento 2 e 3, o M4 apresentou os maiores afastamentos e melhores resultados de desempenho. No índice 4, exatamente no gabarito 7 (TO=57%), os afastamentos foram computados iguais para ambas as tipologias, ainda favorecendo o M4.

A partir daí, nos índices de 5 a 7, os resultados se inverteram e os maiores afastamentos obtidos no M3 não corresponderam a melhores resultados de desempenho. Nessas condições, os ambientes já estão tão obstruídos, que o maior afastamento entre edificações não melhora o desempenho. Nos índices de aproveitamento 5 e 6, nenhum cenário do M1 e do M3 obteve valores de sDA da edificação suficientes para favorecer a luz natural no interior dos ambientes.

Diante disso, a questão não é apenas verificar a melhor combinação dos parâmetros urbanos para a concepção de um projeto, mas identificar a tipologia que mais se apresenta favorável à disposição de luz natural, em determinadas condições.

A última tipologia analisada, a de ocupação perimetral (M2), de geometria inteiramente geminada, diferiu das demais por gerar obstruções nos próprios ambientes (voltados para o pátio interno), especialmente nos encontros das fachadas. Entre 50% e 60%, os afastamentos dos ambientes voltados para o pátio interno apresentaram melhores resultados do que os voltados para o sistema viário, sendo considerada a tipologia, levando em conta uma mesma configuração urbana, que apresentou os maiores afastamentos e os melhores desempenhos no interior dos ambientes.

Somente nas taxas de ocupação mais elevadas, como no gabarito 5 (TO=80%), gabarito 8 (TO=75%) e gabarito 9 (TO=78%), os valores de desempenho da edificação no M2 não foram computados com resultados satisfatórios. Essa foi a única tipologia que apresentou resultados garantidos de luz natural nos índices de aproveitamento iguais a 6 e 7, referentes aos gabaritos de 6 a 14.

Assim, as quatro tipologias arquitetônicas estudadas apresentaram diferentes resultados de desempenho da luz natural no interior dos ambientes, considerando uma mesma configuração urbana. Foram encontrados resultados de desempenho com diferenças de até 40% entre o resultado mais significativo e o mais restritivo, considerando um mesmo pavimento de análise.

Finalizando esta etapa do estudo e levando em conta que o potencial de luz natural da edificação também pode ser explorado através de soluções arquitetônicas que busquem compensar os impactos causados pelo entorno urbano, foram realizadas alterações nos parâmetros arquitetônicos. O bloco isolado no lote e a tipologia do M3 foram novamente analisados, considerando o aumento da área de abertura de 1/6 para 1/5, 1/4 e 1/3 da área do piso e a diminuição da profundidade dos ambientes de 7 metros para 5 metros.

A relação proporcional entre o espaço e a abertura adequada permite manipular a luz natural de maneira a mudar sua forma de incidência no ambiente, distribuição, quantidade e qualidade no espaço. A forma, as dimensões e os materiais das superfícies intervêm na luz natural indireta, tendo a luz refletida no interior do ambiente importante contribuição na distribuição luminosa. O uso da luz natural pode reduzir,

significativamente, o consumo de energia em edificações, reduzindo o impacto ambiental e favorecendo a eficiência energética no ambiente construído.

No bloco isolado no lote, a configuração padrão (ambiente 2+3) foi analisada considerando duas condições: (1) todos os ambientes (1+2+3) da mesma configuração e (2) usando a profundidade igual a 5 e abertura igual a 1/3 da área do piso, que apresenta as características mais favoráveis para a disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes. Na TO=50%, dos seis gabaritos atendidos (28% – gabarito 2 ao 7), a primeira análise alcançou mais dois gabaritos (38% – gabarito 2 ao 9) e a segunda mais 13 gabaritos (95% – 2 ao 21), correspondendo a uma melhora de 67%.

Entretanto, a pesquisa mostrou que, em determinadas configurações urbanas, mesmo o emprego das características arquitetônicas mais significativas não foi suficiente para propiciar o desempenho adequado da edificação, tendo sido constatada essa condição nos cenários de gabaritos acima de 21, na TO=50%; acima de 15 na TO=60%;, acima de 11 na TO=70%, e acima de 9 na TO=80%, nas tipologias de bloco isolado no lote.

Na tipologia do M3, a configuração padrão (ambiente 2+3) obteve 34% dos cenários atendidos (total=13), enquanto que, na configuração (ambiente 1+2+3), os resultados alcançaram 71% (total=27). Com a profundidade igual a 5 e abertura igual a 1/5 da área de piso, os resultados de desempenho da edificação já foram satisfatórios para todos os cenários, dispensando a simulação com a abertura de 1/4 da área do piso.

De acordo com os resultados simulados de diferentes cenários, enquanto no primeiro a profundidade do ambiente foi diminuída de 7 para 5 metros (menos 30%) e, no outro, a área de abertura aumentada de 3,5m² para 4,5m² (mais 30%), constataram-se valores mais significativos para o cenário que alterou a profundidade, demonstrando que esta exerce mais influência do que a área de abertura no desempenho da luz natural no interior dos ambientes.

A combinação das configurações urbanas com as características arquitetônicas das edificações, de forma integrada, é fundamental para o desenvolvimento de projetos com o propósito de obter ambientes internos bem iluminados, pois as decisões tomadas, na escala urbana, influenciam os projetos arquitetônicos, e vice-versa.

Os valores de desempenho obtidos na pesquisa podem ser utilizados para melhores diretrizes projetuais, considerando cada pavimento da edificação, como por

exemplo: (a) definição de maior área de abertura em um determinado pavimento ou menor profundidade em outro; (b) limitação dos espaços com pouca incidência de luz natural, que podem ser utilizados como garagem, áreas de lazer e espaços de serviços; (c) proposição de menor afastamento na fachada lateral de serviço; (e) definição da geometria e do número de pavimentos, para aumentar os afastamentos e, assim, criar estratégias pontuais para minimizar o impacto do entorno urbano imediato.

5.1.2 ETAPA 2

A etapa 2 analisou a influência do índice de espaço aberto – OSR no desempenho da luz natural no interior dos ambientes. O OSR associa o índice de aproveitamento – IA e a taxa de ocupação – TO, relacionando a área construída total com a área aberta (área do lote diminuída da área de projeção).

Quanto menores forem a taxa de ocupação e o índice de aproveitamento, melhores serão os resultados de OSR e sDA. O objetivo dessa etapa foi identificar o valor de OSR a ser utilizado na concepção de projetos, que resultasse em combinações urbanas favoráveis à disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes.

Considerando diferentes tipologias arquitetônicas, com uma mesma combinação de índice de aproveitamento, taxa de ocupação e gabarito, obtém-se um mesmo valor de OSR e, conseqüentemente, mesmas áreas de espaços abertos e construídos. Contudo, o formato das edificações, as disposições possíveis (o modo como são implantadas na quadra) e a continuidade entre as áreas cheias e vazias serão distintos, resultando em diferentes valores de desempenho.

No diagrama *Spacemate* de cada modelo, os valores simulados de sDA foram sobrepostos aos valores de OSR. As áreas representadas na cor verde representam os resultados de desempenho na faixa de $sDA \geq 45\%$, considerados com valores satisfatórios, enquanto que nos tons laranja estão os valores de $sDA < 45\%$, resultados não satisfatórios. Todos os cenários que computaram valores de OSR iguais ou maiores que 0,2 obtiveram resultados de desempenho satisfatórios. Para verificar o melhor desempenho entre dois

cenários inseridos numa mesma faixa de sDA, foram identificadas quatro relações entre os parâmetros (TO, IA e gabarito), para favorecer os resultados de sDA e OSR.

A primeira relação resultou da comparação de cenários com o mesmo valor de índice de aproveitamento. Para obter os melhores resultados de sDA e OSR, um determinado cenário deve ter a taxa de ocupação diminuída e o gabarito aumentado. Nessa condição, constatou-se que a influência da taxa de ocupação foi maior do que a do gabarito, ou seja, o cenário de maior gabarito e menor taxa de ocupação produz melhor desempenho do que os cenários de menor gabarito e maior taxa de ocupação.

Na segunda relação, os cenários comparados apresentam os mesmos valores de taxa de ocupação. Os resultados de desempenho mais significativos foram encontrados para o cenário de menor índice de aproveitamento e gabarito. Nessa condição, quanto maior a área construída, com a mesma projeção, menor será o valor de OSR, conforme determina o cálculo do OSR. Com o aumento do gabarito, a área aberta (área da quadra – área de projeção) mantém-se constante, indicando que o ganho em verticalização não é devidamente compensado em quantidade de área aberta. Analisando-se a quadra urbana como um cubo e comparando cenários de mesma taxa de ocupação e diferentes gabaritos, quando desconsiderados os volumes das edificações, o volume do espaço aberto será maior no cenário de maior gabarito, mas a área de projeção, em ambos, continuará a mesma.

Na terceira relação, o gabarito entre os cenários analisados foi mantido constante e, dessa forma, para melhorar os resultados de desempenho e o OSR, os valores de índice de aproveitamento e da taxa de ocupação devem diminuir. E, por fim, na relação 4, os resultados de sDA e OSR serão mais significativos na condição em que o gabarito e o índice de aproveitamento diminuam, quando a taxa de ocupação aumentar.

Em relação aos valores de OSR igual a 0,1, considerados de transição, foram computados valores de sDA_{edif} satisfatórios e não satisfatórios. Desse modo, constatou-se que $OSR=0,1$ não é o valor mínimo para garantir somente resultados de desempenho satisfatório.

5.1.3 ETAPA 3

O impacto do entorno imediato restringe as condições de visibilidade das fontes luminosas diretas (Sol e céu) e indiretas (reflexão em superfícies externas e internas), que são fortemente influenciadas pela geometria das edificações e pela forma urbana. Assim, a etapa 3 teve como intuito determinar o ângulo máximo de obstrução vertical e a porcentagem mínima de céu visível, correspondente ao menor valor estipulado de desempenho que propiciasse luz natural no interior dos ambientes, considerando as diferentes tipologias arquitetônicas.

O cálculo do ângulo de obstrução vertical é uma forma simples de expressar as distâncias pelas quais as fachadas das edificações estão espaçadas em relação à sua altura. As simulações realizadas da porcentagem de céu visível complementaram os resultados, uma vez que consideram toda a abóbada celeste, inclusive a obstrução que pode ocorrer da própria edificação.

Os valores do ângulo de obstrução e a porcentagem de céu visível foram calculados e simulados do 1º ao 21º pavimento, denominados pavimentos de análise (Pa). Foi considerado como 1º Pa aquele localizado no último pavimento da edificação e, assim, sucessivamente. Essa estratégia de começar a contagem a partir do último pavimento permitiu comparar cenários de diferentes gabaritos, porque, num mesmo pavimento de análise, a obstrução tem a mesma altura em ambos os ambientes, não favorecendo os de menor gabarito, que são os que apresentam as menores obstruções.

A Identificação dos valores mínimos da porcentagem de céu visível e os valores máximos do ângulo de obstrução, de diversas configurações urbanas e tipologias arquitetônicas dos cenários simulados na pesquisa, foi possível ao correlacioná-los aos valores encontrados de sDA=45% (limite para resultados satisfatório estipulado na pesquisa). Assim, os ângulos e as porcentagens correspondentes aos valores de sDA=45% refletem em desempenho satisfatório.

Na tipologia de bloco isolado no lote, os afastamentos mantiveram-se constantes com o aumento do gabarito, resultando em ângulos máximos para se obter desempenho satisfatório nas TO=40%, 50% e 60% iguais a 50°, 49° e 48° e as menores porcentagens de céu visível iguais a 26%, 25% e 24%, correspondentes ao 5º, 4º e 3º Pa,

respectivamente. Isto significa dizer que uma edificação de até 5 pavimentos, por exemplo, de $TO = 50\%$, terá, nos pavimentos 2 ao 5, desempenhos garantidos, se computados no 4º Pa, ângulo máximo de 49° , o que corresponderá à porcentagem mínima de céu visível de 25% .

Nas tipologias de quadra, com o aumento da taxa de ocupação, os valores de gabarito aumentaram (relação 1). Os resultados em destaque foram computados na faixa de $TO = 50\%$ a 59% , valor máximo de ângulo de obstrução e mínimo de céu visível iguais a 49° , 52° , 50° , 63° e 29% , 18% , 21% , 21% , correspondendo ao 4º Pa, 8º Pa, 5º Pa e 7º Pa, para M1, M2, M3 e M4, respectivamente. Quanto mais alto o valor de Pa, significa que mais pavimentos foram atendidos. Assim, nessa faixa de análise, os resultados mais elevados foram computados para M2, seguido de M4, M3 e M1.

Os ângulos de obstrução e a porcentagem de céu visível são inversamente proporcionais e, assim, em áreas que são obstruídas pela própria edificação, observou-se que no M2, com a diminuição do ângulo de obstrução, os valores de céu visível não aumentaram. Mas, mesmo nessas condições, os valores de sDA e os afastamentos, considerando uma mesma configuração urbana, apresentaram resultados significativamente maiores do que nas demais tipologias analisadas.

5.1.4 ETAPA 4

A etapa 4 consistiu na criação de novos cenários, de diferentes configurações urbanas e disposições das edificações na quadra, para testar os índices normativos tradicionais e os índices informativos (desempenho de performance), utilizando-se os resultados finais da pesquisa, apresentados nas tabelas de correlação e nas tabelas de transição.

A tabela de correlação exibe os valores de sDA_{amb} simulados e os valores correspondentes da porcentagem de céu visível, ângulo de obstrução e afastamentos das obstruções, considerando os pavimentos de análise de todos os modelos. Nesta tabela, os valores exibidos foram os maiores e os menores computados para cada pavimento de análise. Na tabela de transição, por sua vez, dentro desse intervalo, foi possível identificar

o maior ângulo de obstrução e a menor porcentagem de céu visível, correspondente ao menor valor satisfatório de desempenho.

Nessa etapa da pesquisa, no primeiro estudo, foi analisada uma edificação inserida num lote de entorno consolidado e escolhida a melhor configuração urbana. O desempenho de cada pavimento de análise foi obtido de acordo com os três passos utilizados da pesquisa: (1) identificação do resultado de desempenho de uma determinada forma urbana no diagrama *Spacemate*, (2) cálculo do ângulo de obstrução vertical dos pavimentos da edificação de análise e (3) consulta da tabela de correlação de transição.

No segundo estudo, os primeiros cenários criados consideraram a legislação da cidade de Florianópolis, sendo escolhida uma área altamente densa para essas análises. O potencial máximo construtivo do lote foi considerado na concepção dos cenários permitidos pela legislação vigente, sendo computados todos os valores de sDA da edificação $\geq 45\%$. Todos os cenários de gabarito até 12 apresentaram valores de OSR iguais a 0,2. Os resultados de desempenho desses cenários foram simulados e, posteriormente, comparados de acordo com resultados finais encontrados nas tabelas. Os resultados satisfatórios foram confirmados e os de transição puderam ser definidos a partir do valor do ângulo máximo.

Quando utilizada a alternativa prevista, na legislação mencionada, de compra de índice 1/3 da outorga onerosa, 1º e 2º pavimentos com TO=80% e acréscimo de 4 pavimentos pela Transferência do Direto de Construir (TDC), os cenários de gabarito 4, 5 e 8 ao 12 passam a computar valor de OSR igual a 0,1. Entretanto, quando verificado o desempenho em relação a cada pavimento de análise, mesmo com o controle da densidade e dos valores máximos de IA, TO e gabarito, o resultado não foi suficiente para garantir luz natural, especialmente nos pavimentos inferiores.

Não foram criados cenários de gabarito 13 a 16, permitidos por essa legislação, por causa das exigências dos afastamentos mínimos, que não possibilitaram a inserção dos ambientes de análise nas quatro fachadas simultaneamente (largura mínima da edificação de 14 metros), sendo esse um critério definido para a pesquisa.

Quando comparados os resultados simulados referentes ao bloco isolado no lote, os cenários que computaram de gabarito 13 a 16 obtiveram desempenho satisfatório, tendo a taxa de ocupação apresentado valor superior ao mínimo permitido pela legislação

em até 13% e índice de aproveitamento maior em 1,6, mesmo não considerando os afastamentos mínimos exigidos. Foi constatado que os regulamentos normativos não são suficientes para assegurar o bom desempenho, além de limitar a criação de formas urbanas e arquitetônicas que apresentem condições favoráveis à luz natural.

Frente a esse resultado, o terceiro estudo desenvolvido foi a concepção da quadra de tipologia aberta, na qual as edificações foram dispostas de forma aleatória, e a configuração urbana escolhida foi comparada com os mesmos parâmetros das quatro tipologias arquitetônicas da pesquisa. Na quadra aberta, o valor utilizado de OSR foi igual a 0,1 tendo sido considerados os afastamentos mínimos permitidos entre edificações (legislação de Florianópolis), todavia, sem atentar para o gabarito e a taxa de ocupação máximos. Para verificar os resultados de desempenho de cada pavimento de análise, os valores dos ângulos calculados foram correlacionados com os resultados obtidos nas tabelas finais da pesquisa, para cada pavimento de análise.

Como resultado, observou-se que, na quadra aberta, maior quantidade de pavimentos foram atendidos, quando comparados com cenários de mesma configuração urbana das quatro tipologias analisadas, mesmo mantendo-se a mesma área construída total. O afastamento computado entre edificações foi significativamente mais elevado, resultado dos diferentes arranjos criados, tendo sido possível limitar o gabarito e a taxa de ocupação, apenas pelos afastamentos mínimos entre edificações.

5.2 RESULTADO FINAL

A forma urbana é definida pela geometria e pela disposição das edificações e controlada pelos regulamentos das cidades, que determinam os valores máximos permitidos para os parâmetros de uma determinada área urbana.

No diagrama *Spacemate*, os valores obtidos de sDA não são informados, apenas são verificadas as áreas consideradas satisfatórias ou não-satisfatórias. Assim, a partir do OSR inserido no diagrama, é possível comparar cenários dentro da mesma faixa de valores de sDA, identificando o melhor resultado que foi computado para o cenário de maior valor de OSR. Foi confirmado que todos os cenários que obtiveram valor de $OSR \geq 0,2$ computaram desempenho da edificação satisfatório.

Os valores de IA, TO e gabarito, índices urbanísticos regulados pelas normas tradicionais urbanas, foram correlacionados com os índices performativos de desempenho (Autonomia Espacial da Luz Natural – sDA) e observou-se que essas regras urbanas, isoladamente, não são suficientes para assegurar o desempenho da luz natural no interior dos ambientes de todos os pavimentos de uma edificação, em especial nos pavimentos inferiores, que são os mais obstruídos pelo entorno. Foram encontrados cenários com configurações urbanas acima dos limites estabelecidos de resultados satisfatórios e, ao mesmo tempo, cenários que não computaram resultados de $sDA \geq 45\%$, combinando valor abaixo dos permitidos pelas regras urbanas.

Considerando que essas regras utilizam somente os índices normativos tradicionais, que definem os valores máximos permitidos, esta tese investigou a influência das formas urbanas na disponibilidade de luz natural no interior do ambiente construído, identificando, a partir dos valores de desempenho performativo, os cenários que apresentaram desempenhos satisfatórios. Esses resultados, obtidos por simulações paramétricas, podem auxiliar na escolha da configuração mais adequada no desenvolvimento de novos projetos, que podem ser consultados simultaneamente através dos diagramas.

Em sequência, os resultados de desempenho performativo foram correlacionados com o ângulo de obstrução vertical e a porcentagem de céu visível de cada pavimento de análise, identificando os valores máximos e mínimos respectivos, para assegurar o mínimo resultado de sDA considerado satisfatório. Os resultados apresentados nas tabelas de correlação e transição permitem testar diferentes disposições e geometrias, investigando maneiras de aumentar os afastamentos entre as edificações do entorno.

Cenários urbanos foram analisados, combinando índices urbanísticos normativos (IA, TO e gabarito) com os índices de desempenho performativo (sDA, correlacionados com o ângulo de obstrução e a porcentagem de céu visível) e, considerando os ângulos máximos de obstrução vertical identificados na pesquisa, foi possível aumentar a diversificação na disposição das edificações, resultando em melhores desempenhos, sem causar obstruções para o entorno imediato.

Para permitir maior variedade de geometrias arquitetônicas e de arranjos entre as edificações, considerando os aspectos da disponibilidade de luz natural no interior dos

ambientes, o gabarito e a taxa de ocupação poderiam ser regulados sem estabelecer valores máximos permitidos, sendo o controle de uso e ocupação do solo urbano realizado pelo valor do índice de aproveitamento máximo. Salienta-se que esta proposição, baseada na condição da luz natural, não confronta diferentes aspectos e suas consequências, como por exemplo, permeabilidade, relação público x privado, alturas, homogeneidade formal, etc.).

O OSR com valor mínimo de 0,1, em conjunto com o índice de aproveitamento, pode ser utilizado, nas cidades brasileiras, como um dos parâmetros para o controle da forma do espaço urbano, para o controle da disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes. O OSR relaciona o índice de aproveitamento e a taxa de ocupação, e assim estaria, indiretamente, limitando a taxa de ocupação. O gabarito, por sua vez, seria monitorado apenas pelos afastamentos mínimos entre as edificações do entorno. Assim, a taxa de ocupação e o gabarito continuariam sendo controlados, mas com maior autonomia, sem a definição de valores máximos permitidos. Cada projeto possui suas especificidades e, por isso, não deve ser controlado apenas considerando as regras urbanas genéricas, para diferentes situações urbanas e arquitetônicas.

A utilização do desempenho performativo proporciona uma maior variedade de formas urbanas, possibilitando, com o mesmo potencial construtivo, aumentar a disponibilidade de luz natural, não só no interior dos ambientes das edificações de análise, mas também no interior dos ambientes das edificações do entorno.

Considerando o planejamento urbano das cidades na escala do lote, o bloco isolado, condição observada na maioria das cidades brasileiras, é uma tipologia que não permite disposições entre as edificações, pois não aumenta os afastamentos entre as obstruções do entorno, restringindo a incidência de luz natural no interior do ambiente construído. O grande desafio constitui-se em controlar o uso e a ocupação das edificações e, ao mesmo tempo, dar maior autonomia na concepção de projetos. Foi constatado que, na escala da quadra, os espaços podem ser concebidos de maneira a aumentar a qualidade arquitetônica e urbana, podendo ser planejados especialmente para áreas novas e em transformação.

Os resultados de desempenho dessa tese possibilitaram, também, prever o comportamento da luz natural no interior dos ambientes pontualmente. Diante disso, as

características arquitetônicas, como área mínima de abertura e dimensionamento dos ambientes, podem ser definidas, considerando os resultados de desempenho performativo computados para cada pavimento de análise.

Se o desempenho da luz natural no interior do ambiente construído é diferente de acordo com o pavimento em que se situa, não há razão de todos os pavimentos terem os mesmos arranjos internos e/ou serem dimensionados com a mesma área de abertura. Assim, pode-se aumentar a profundidade dos ambientes e diminuir a área de abertura dos pavimentos superiores, ou ainda, diminuir a profundidade dos ambientes e aumentar a área de abertura dos inferiores. Essas estratégias podem ser utilizadas para tentar compensar os custos de não ter todos os pavimentos construídos de maneira regular. Os leiautes internos podem ser concebidos e os usos definidos de maneira a aproveitar a luz natural, considerando cada condição específica.

A tipologia híbrida apresentou resultados satisfatórios, ao mesclar funções de ambientes considerados transitórios, como garagens, nos pavimentos mais restritivos, permitindo aumentar a sua área de projeção. Por mais que diminua a área do pavimento tipo, aumentam-se os afastamentos da edificação de análise em relação ao entorno, possibilitando edificar com o mesmo potencial construtivo.

Cenários que apresentam desempenho de diferentes configurações urbanas podem ser previstos, antes de serem implantados no entorno imediato do lote ou da quadra, de maneira a evitar obstruções à disponibilidade de luz natural no interior do ambiente construído. As regras urbanas, criadas a partir do “estudo de massa”, evitariam lacunas na maneira como as edificações estarão relacionadas ao espaço público, que usos serão realizados junto à testada, como será a vedação das edificações, como os lotes serão delimitados fisicamente, qual o máximo admitido de vagas de garagem, e assim por diante.

Assim, sugere-se a aplicação dos instrumentos que proporcionem maior regulação do uso do solo, por meio do desenvolvimento de normas e legislações que definam a forma urbana. O controle do uso do solo deve trazer melhores resultados, sem necessariamente prejudicar a criatividade das soluções. É importante considerar a quadra com relação ao seu tecido e à escala urbana existente, de maneira a aumentar a qualidade urbana e arquitetônica.

5.3 LIMITAÇÃO DA PESQUISA

As tipologias do bloco isolado no lote e as tipologias de quadras urbanas foram analisadas, considerando o resultado médio do desempenho da luz natural dos ambientes internos inseridos centralizados em cada uma das fachadas da edificação de análise, não levando em conta os demais ambientes. Conforme realizadas algumas análises pontuais nesta pesquisa, verificou-se que diferentes implantações do ambiente de análise, num mesmo pavimento, têm o ângulo de obstrução vertical e a porcentagem de céu visível alterados e, como consequência, também os resultados de desempenho.

Outras geometrias poderiam ser testadas, como é o exemplo dos formatos em C, H, L, Y, F, W, U, verificando a influência da disponibilidade da luz natural também quando implantadas em diferentes posições.

Com base nos resultados da pesquisa, arranjos formais urbanos e diferentes estratégias poderiam ser apresentados, para auxiliar na concepção de projetos arquitetônicos e urbanos, definindo diretrizes por pavimentos, a fim de criar um guia para consultas.

5.4 RECOMENDAÇÃO DE FUTUROS TRABALHOS

Diante da limitação da pesquisa em simular somente o desempenho da média dos ambientes centralizados nas fachadas, propõem-se novas simulações para testar outras geometrias de edificações, mas, neste momento, inseridas em entornos urbanos imediatos com as características arquitetônicas e urbanas idênticas. Nesta tese, os parâmetros urbanos se mantiveram inalterados, mas as características arquitetônicas utilizadas foram as mesmas da edificação de análise.

Sugere-se que as análises sejam realizadas de dois em dois, ou até de três em três pavimentos, pois não foram obtidos resultados com diferença significativa. As simulações poderiam ser realizadas no pavimento como um todo e, posteriormente, estender-se para o ambiente.

Nos ambientes, poderiam ser testadas diversas profundidades e áreas de abertura numa mesma geometria de edificação, aumentando e/ou diminuindo de acordo com os pavimentos da edificação analisada. Este estudo teria o objetivo de verificar valores máximos e mínimos no dimensionamento do ambiente e na área de abertura respectivamente, considerando condições urbanas específicas.

As geometrias que apresentam saliências e reentrâncias poderiam ser simuladas parametricamente, a fim de testar e identificar um valor máximo que defina a largura e o comprimento, a fim de garantir a luz natural no interior dos próprios ambientes da edificação analisada, sem que a obstrução proveniente dos encontros das fachadas interfira nos resultados de desempenho.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1 2013 Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1 : Requisitos gerais Prefácio. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, [S. l.], 2013.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho, Parte 1: Interior** Abnt, [S. l.: s. n.] Disponível em: <https://doi.org/978-85-07-04141-2>
- ACIOLY, CC; DAVIDSON, F. Densidade urbana: um instrumento de **planejamento e gestão Urbana**, [S. l.], 1998.
- AGUIAR, Tatiana. **Geodesign como teoria de planejamento: a verticalização de Balneário Camboriú-SC**. 2017. - Universidade do Estado de Santa Catarina, [s. l.], 2017.
- ALBUQUERQUE, Milena Sampaio Cintra de; AMORIM, Cláudia Naves David. Iluminação natural: indicações de profundidade-limite de ambientes para iluminação natural no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais - RTQ-R. **Ambiente Construído**, [S. l.], 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212012000200004>
- AMARAL, M. G. V; PEREIRA, F. O. R. Iluminação Natural : Revisão da Legislação Construtiva de Florianópolis. **Encac/Elacac**, [S. l.], 1999.
- BERGHAUSER-PONT, M. Y.; HAUPT, P. A. The Spacemate: Density and the typomorphology of the urban fabric. *In: Urbanism Laboratory for Cities and Regions*. [S. l.: s. n.]. *E-book*.
- BERGHAUSER PONT, Meta; HAUPT, Per. **Space, Density and Urban Form**. [S. l.: s. n.]. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/20632013>
- BOEING, Geoff. Measuring the complexity of urban form and design. **Urban Design International**, [S. l.], 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1057/s41289-018-0072-1>
- BONDUKI, Nabil. **Origens da habitação social no Brasil. Arquitetura moderna, Lei do Inquilinato e difusão da casa própria**. 2a. ed. São Paulo: Estação Liberdade: FAPESP, 1998. *E-book*.
- BOUBEKRI, Mohamed. **Daylighting, architecture and health: Building design strategies**. [S. l.: s. n.]. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.4324/9780080940717>
- BOYCE, P. R. Illuminance selection based on visual performance—and other fairy stories. **Journal of the Illuminating Engineering Society**, [S. l.], 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00994480.1996.10748146>
- BRASIL. **Cadernos de Planejamento e Projetos Urbanos de Florianópolis - Parcelamento do solo**. [S. l.: s. n.]
- BROWN, F. E.; STEADMAN, J. P. The morphology of British housing: an empirical basis for policy and research. Part I: Functional and dimensional characteristics. **Environment and Planning B: Planning and Design**, [S. l.], 1991. Disponível em:

<https://doi.org/10.1068/b180277>

CASTRIOTA, Leonardo; ARAÚJO, Guilherme. Patrimônio, valores e historiografia: a preservação do conjunto habitacional do Instituto de Aposentadorias e Pensões dos Industriários - IAPI. **Arquitetura Revista**, [S. l.], 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.4013/arq.2009.51.04>

CELANI, Gabriela. **Arquitetura contemporânea e automação: prática e reflexão**. São Paulo: ProBooks, 2018. *E-book*.

CHAPMAN, Lee; THORNES, John E.; BRADLEY, Andrew V. Sky-view factor approximation using GPS receivers. **International Journal of Climatology**, [S. l.], 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.649>

CHENG, Vicky *et al.* Urban form, density and solar potential. *In*: 2006a, **PLEA 2006 - 23rd International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Conference Proceedings**. [S. l.: s. n.]

CHENG, Vicky *et al.* Compact cities in a sustainable manner. *In*: 2006b, Oxford. **2nd International Solar Cities Conference**. Oxford: [s. n.], 2006.

CORRÊA, Roberto Lobato. **O espaço urbano**. São Paulo: Ática, 1995. *E-book*.

DA ROSA, Franciele Fontana; SCALCO, Veridiana Atanasio; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. Estudo de aplicabilidade do Parâmetro Janela de Céu Preferível para Simulação da Iluminação Natural Baseada no Clima. *In*: 2020, Palhoça. **VIII ENSUS - Encontro de Sustentabilidade em Projeto**. Palhoça: UNISUL, 2020.

DAVIDSON, Scott. **Grasshopper Algorithmic Modeling for Rhino**. [s. l.], 2015.

DE LUCA, Francesco; DOGAN, Timur. A novel solar envelope method based on solar ordinances for urban planning. **Building Simulation**, [S. l.], v. 12, n. 5, p. 817–834, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12273-019-0561-1>

DEKAY, Mark. Daylighting and urban form: an Urban Fabric of Light. **Journal of Architectural and Planning Research**, [S. l.], 2010.

DEKAY, Mark; BROWN, G. Z. **SUN, WIND & LIGHT: Architectural Design Strategies**. [S. l.: s. n.]. *E-book*.

DEL RIO, Vicente. **Introdução ao Desenho Urbano no Processo de Planejamento**. Sao Paulo: Pini, 1990. *E-book*.

DIAS, Alice Ruck Drummond *et al.* Influência de métricas dinâmicas na avaliação do aproveitamento da luz natural em clima tropical. **Ambiente Construído**, [S. l.], 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000300266>

DOGAN, Timur; SARATSI, Emmanouil; REINHART, Christoph. The optimization potential of floor-plan typologies in early design energy modeling The MIT Faculty has made this article openly available . Please share Citation energy modeling. *In*: 2015a, **Proceedings of BS2015: 14th Conference of International Building Performance Simulation Association, December 7-9 2015, Hyderabad, India, International Building Performance Simulation Association (IBPSA)**. [S. l.: s. n.]

DOGAN, Timur; SARATSI, Emmanouil; REINHART, Christoph. Towards an energy simulation-informed design process: A 3-phase approach for a performative

interdisciplinary laboratory building. *In*: 2015b, **14th International Conference of IBPSA - Building Simulation 2015, BS 2015, Conference Proceedings**. [S. l.: s. n.]

EFA. **EFA daylight design guide**. [S. l.: s. n.].

ELTAWHEEL, Ahmad; SU, Yuehong. **Parametric design and daylighting: A literature review**. [S. l.: s. n.] Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.011>

FICHER, S. Edifícios altos no Brasil. **Espaço & debates**, São Paulo, v. 24, 1994.

FLORIANÓPOLIS, Prefeitura Municipal de. **Plano Diretor de Florianópolis**. [s. l.], 2014.

FLORIO, Wilson. Modelagem Paramétrica, Criatividade e Projeto: Duas Experiências com Estudantes de Arquitetura. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, [S. l.], 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.4237/gtp.v6i2.211>

FRAMPTON, Kenneth. **História crítica da arquitetura moderna**. São Paulo: Martins Fontes, 1997. *E-book*.

FRENCH, Hilary. **Os mais importantes conjuntos habitacionais do século XX**. Porto Alegre: Bookman, 2009. *E-book*.

GAGNE, Jaime M. L.; ANDERSEN, Marilyne. A daylighting knowledge base for performance-driven facade design exploration. **LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America**, [S. l.], 2011. Disponível em:
<https://doi.org/10.1582/LEUKOS.2011.08.02.001>

GONÇALVES, Joana Carla Soares. O desejo pela verticalidade. **Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, [S. l.], 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2317-2762.v0i9p138-153>

GOTTDIENER, Mark. **A produção social do espaço urbano**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1993. *E-book*.

GRAZZIOTIN, PC; TURKIENICZ, B. Cityzoom: A tool for the visualization of the impact of urban regulations. *In*: 2004, **Proceedings of the 8th Iberoamerican Congress of Digital Graphics**. [S. l.: s. n.]

HÄMMERLE, Martin *et al.* Comparison of models calculating the sky view factor used for urban climate investigations. **Theoretical and Applied Climatology**, [S. l.], 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0402-3>

HERTZBERGER, Herman. **Lições de arquitetura**. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1999. *E-book*.

HESCHONG, Lisa. DAYLIGHT METRICS PIER Daylighting Plus Research Program. **Public Interest Energy Research (PIER) Program**, [S. l.], 2012.

IESNA. **Lighting Measurement #83, Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)**. [S. l.: s. n.]

JACOBS, Jane. **Morte e Vida das Grandes Cidades**. [S. l.: s. n.]. *E-book*.

KHAN, Louis. Louis Khan. **Perspecta**, [S. l.], 1961. Disponível em:

<https://doi.org/10.2307/1566863>

KNOWLES, Ralph L. The solar envelope: Its meaning for energy and buildings. *In*: 2003, **Energy and Buildings**. [S. l.: s. n.] Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00076-2](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00076-2)

LAMAS, José M. Garcia. **Morfologia Urbana e Desenho da Cidade**. Fundação C ed. Lisboa: [s. n.], 1999. *E-book*.

LANG, Jon T. Urban design processes and procedures. *In*: **Urban Design: a typology of procedures and products**. [S. l.: s. n.]. *E-book*.

LEDER, Solange Maria; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Ocupação urbana e disponibilidade de luz natural**. [S. l.: s. n.]

LEHNERER, Alex. **Grand urban rules 010**. [S. l.: s. n.]. *E-book*.

LI, Danny H. W. *et al.* Evaluation of a simple method for determining the vertical daylight factor against full-scale measured data. **Indoor and Built Environment**, [S. l.], 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1420326X09337042>

LIMA, Mariana; FREITAS, Clarissa. MODELAGEM PARAMÉTRICA E OS LIMITES DOS MECANISMOS TRADICIONAIS DE REGULAÇÃO DA FORMA URBANA. **Revista Políticas Públicas & Cidades**, [S. l.], 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.23900/2359-1552.2016v4n1p117>

LITTLEFAIR, Paul. Passive solar urban design : Ensuring the penetration of solar energy into the city. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(97\)00009-9](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(97)00009-9)

LITTLEFAIR, Paul. Site Layout Planning for Daylight and Sunlight. A guide to good practice. Report 209, 2nd edition. **Arboricultural Journal**, [S. l.], 2011.

LOPES, Wilson Martins; DOS SANTOS, Regina Célia Bega. Reprodução do espaço urbano e a discussão de novas centralidades. **RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise**, [S. l.], 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/raega.v19i0.14827>

MACEDO, Silvio Soares. Espaços Livres. **Paisagem e Ambiente**, [S. l.], 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2359-5361.v0i7p15-56>

MARDALJEVIC, John. Daylight daylight/daylighting , Indoor Illumination indoor illumination , and Human Behavior. *In*: **Sustainable Built Environments**. [S. l.: s. n.]. *E-book*. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5828-9_456

MARDALJEVIC, John. Climate-Based Daylight Modelling And Its Discontents. *In*: 2015, **CIBSE Technical Symposium**. [S. l.: s. n.]

MCNEEL, R. Grasshopper - Generative Modelling with Rhino. [S. l.], 2017. Disponível em: <http://www.grasshopper3d.com/>

MEDINA, Luciano Lacerda. **A reinvenção da quadra: o plano de quadra como alternativa de controle e desenho urbano para o Recife**. 2018. - Universidade Federal de Pernambuco, [s. l.], 2018.

MOHAJERI, Nahid *et al.* Neighbourhood morphology and solar irradiance in relation to urban climate. *In*: 2015, **9th International Conference on Urban Climate jointly**

with 12th Symposium on the Urban Environment. [S. l.: s. n.]

NABIL, Azza; MARDALJEVIC, John. Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. **Energy and Buildings**, [S. l.], 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.013>

NETTO, Vinicius M.; CELSO VARGAS, Julio; DE SABOYA, Renato T. (Buscando) Os efeitos sociais da morfologia arquitetônica. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, [S. l.], 2012.

NETTO, Vinicius M.; KRAFTA, Romulo. A forma urbana como problema de desempenho. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, [S. l.], 2009.

NG, Edward. A study of the relationship between daylight performance and height difference of buildings in high density cities using computational simulation. In: 2005, **IBPSA 2005 - International Building Performance Simulation Association 2005**. [S. l.: s. n.]

NOTO, Felipe de Souza. **O quarteirão como suporte da transformação urbana de São Paulo**. 2017. - Universidade de São Paulo, [s. l.], 2017.

NYC. **Zoning handbook**. [S. l.: s. n.].

O'CONNOR, J. *et al.* Tips for daylighting with windows: An integrated approach. In: (LBNL-39945, Org.) 1997, Berkeley (CA). **Anais [...]**. Berkeley (CA): [s. n.], 1997.

PAROLEK, D.; PAROLEK, K.; CRAWFORD, P. **Form Based Codes: A Guide for Planners, Urban Designers, Municipalities and Developers**. New York: Wiley, 2008. *E-book*.

PEREIRA, Roberto Carlos; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay; CLARO, Anderson. Caracterização da contribuição do entorno na avaliação da iluminação natural em edificações. **Ambiente Construído**, [S. l.], 2008.

RAFIEIAN, Mojtaba; RAD, Hadi Rezaei; SHARIFI, Ayyoob. The necessity of using Sky View Factor in urban planning: A case study of Narmak neighborhood, Tehran. In: 2014, **Proceedings of the 2014 International Conference and Utility Exhibition on Green Energy for Sustainable Development, ICUE 2014**. [S. l.: s. n.]

RAMIRES, J. C. de. L. O processo de verticalização das cidades brasileiras. **Boletim de Geografia**, [S. l.], n.1, v.16, 1998.

RATTI, Carlo; BAKER, Nick; STEEMERS, Koen. Energy consumption and urban texture. **Energy and Buildings**, [S. l.], 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.10.010>

REGO, Renato Leão; MENEGUETTI, Karin Schwabe. A respeito de morfologia urbana. Tópicos básicos para estudos da forma da cidade. **Acta Scientiarum - Technology**, [S. l.], 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v33i2.6196>

REINHART, C. F. A simulation-based review of the ubiquitous window-headheight to daylit zone depth rule-of-thumb. In: 2005, **IBPSA 2005 - International Building Performance Simulation Association 2005**. [S. l.: s. n.]

REINHART, Christoph F.; MARDALJEVIC, John; ROGERS, Zack. Dynamic daylight

- performance metrics for sustainable building design. **LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America**, [S. l.], 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1582/LEUKOS.2006.03.01.001>
- REINHART, Christoph F.; WIENOLD, Jan. The daylighting dashboard - A simulation-based design analysis for daylight spaces. **Building and Environment**, [S. l.], 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.08.001>
- REINHART, Christoph; FITZ, Annegret. Findings from a survey on the current use of daylight simulations in building design. **Energy and Buildings**, [S. l.], 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.012>
- REINHART, Christoph; RAKHA, Tarek; WEISSMAN, Dan. Predicting the daylight Area - A comparison of students assessments and simulations at eleven schools of architecture. **LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America**, [S. l.], 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15502724.2014.929007>
- REIS, Almir Francisco. Preservação ambiental no contexto urbano: cidade e natureza na Ilha de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, [S. l.], 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.22296/2317-1529.2010v12n1p45>
- ROLNIK, R. Regulação Urbanística no Brasil: Conquistas e desafios de um modelo em construção. Anais do Seminário Internacional: Gestão da Terra Urbana e Habitação de Interesse Social,, PUCCAMP, 2000.
- SABOYA, Renato; NETTO, Vinicius; VARGAS, Julio. Tipologias Edilícias e Vitalidade Urbana : Um Estudo de Caso em Florianópolis-SC. **Anais do Encontro Nacional da Associação de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional - ANPUR**, [S. l.], 2013.
- SANTOS, Carlos Nelson Ferreira dos. **A cidade como um jogo de cartas**. EDUFF ed. Niterói: [s. n.], 1988. *E-book*.
- SARATSIS, Emmanouil; DOGAN, Timur; REINHART, Christoph F. Simulation-based daylighting analysis procedure for developing urban zoning rules. **Building Research and Information**, [S. l.], 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09613218.2016.1159850>
- SATTRUP, Peter A.; STRØMANN-ANDERSEN, Jakob. Building typologies in Northern European cities: Daylight, solar access, and building energy use. **Journal of Architectural and Planning Research**, [S. l.], 2013.
- SCALCO, Veridiana Atanasio; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. Método para a avaliação do impacto de edificações no acesso à iluminação natural em vizinhanças urbanas aplicado em cenários virtuais. **Ambiente Construído**, [S. l.], 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000200086>
- SCHIANO-PHAN, Rosa *et al.* Spatial Delight and Environmental Performance of Modernist Architecture in London – Golden Lane Estate. **Future Cities and Environment**, [S. l.], 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5334/fce.47>
- SOUZA, Lea Cristina Lucas de *et al.* Fator de visão do céu e intensidade de ilhas de calor na escala do pedestre. **Ambiente Construído**, [S. l.], 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212010000400011>

STEADMAN, Philip *et al.* A classification of built forms. **Environment and Planning B: Planning and Design**, [S. l.], 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1068/bst7>

STEADMAN, Philip. Density and built form: Integrating “Spacemate” with the work of Martin and March. **Environment and Planning B: Planning and Design**, [S. l.], 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1068/b39141>

STEADMAN, Philip; EVANS, Stephen; BATTY, Michael. Wall area, volume and plan depth in the building stock. **Building Research and Information**, [S. l.], 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09613210903152531>

STEEMERS, Koen. Energy and the city: Density, buildings and transport. *In:* 2003, **Energy and Buildings**. [S. l.: s. n.] Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00075-0](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00075-0)

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local climate zones for urban temperature studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, [S. l.], 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>

SUGA, M. Avaliação do potencial de aproveitamento de luz natural em cânions urbanos: estudo realizado nos eixos estruturais de Curitiba. 2005. **Dissertação de Mestrado - Programa de Pós Graduação em Tecnologia, Universidade Federal do Paraná**, [S. l.], 2005.

TALEN, Emily. **City rules: How regulations affect urban form**. [S. l.: s. n.]. *E-book*.

TALEN, Emily. Zoning For and Against Sprawl: The Case for Form-Based Codes. **Journal of Urban Design**, [S. l.], 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13574809.2013.772883>

TURKIENICZ, Benamy; GONÇALVES, Bárbara Bellaver; GRAZZIOTIN, Pablo. CityZoom: A Visualization Tool for the Assessment of Planning Regulations. **International Journal of Architectural Computing**, [S. l.], 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1260/147807708784640144>

UNGER, János. Intra-urban relationship between surface geometry and urban heat island: review and new approach. **Climate Research**, [S. l.], v. 27, 2004.

USGBC. **LEED v4 for building design and construction**. Washington, DC: [s. n.], 2015.

USGBC. **LEED | USGBC**. [s. l.], 2020.

VAN DEN WYMELENBERG, Kevin G. Visual comfort, discomfort glare, and occupant fenestration control: Developing a research agenda. **LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America**, [S. l.], 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15502724.2014.939004>

VAN DEN WYMELENBERG, Kevin; MEEK, Christopher. Simulation-based daylighting design education and technical support. *In:* 2011, **Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association**. [S. l.: s. n.]

VAN ESCH, M. M. E.; LOOMAN, R. H. J.; DE BRUIN-HORDIJK, G. J. The effects of urban and building design parameters on solar access to the urban canyon and the

potential for direct passive solar heating strategies. **Energy and Buildings**, [S. l.], 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.11.042>

VAZ, Lilian Fessler. Dos cortiços às favelas e aos edifícios de apartamentos: a modernização da moradia no Rio de Janeiro. **Análise Social**, [S. l.], 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/41011022>

WATSON, I. D.; JOHNSON, G. T. Graphical estimation of sky view-factors in urban environments. **Journal of Climatology**, [S. l.], 1987. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.3370070210>

ZAHID IQBAL, Qureshi M.; CHAN, A. L. S. Pedestrian level wind environment assessment around group of high-rise cross-shaped buildings: Effect of building shape, separation and orientation. **Building and Environment**, [S. l.], 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.02.015>

APÊNDICE A – Dados dos cenários – Bloco isolado no lote

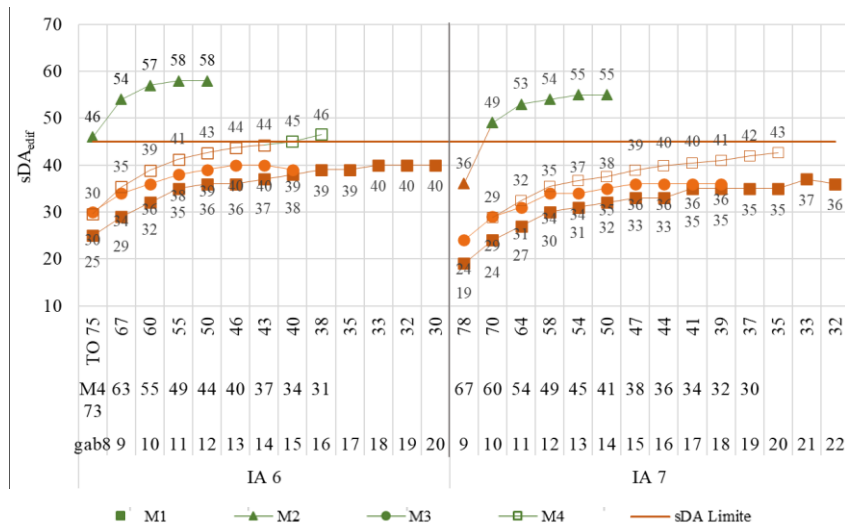
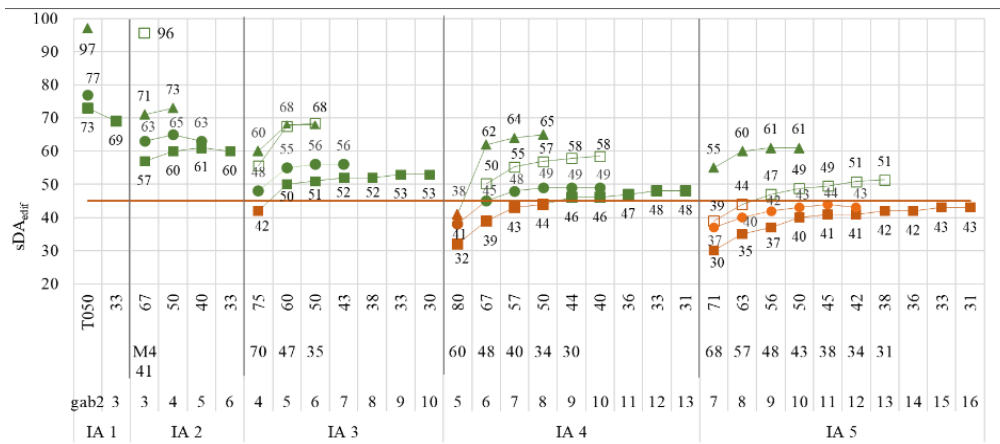
BLOCO ISOLADO NO LOTE																								
GAB	TO=30%				TO=40%				TO=50%				TO=60%				TO=70%				TO=80%			
	IA	A. proj.	Afast.	A. const.	IA	A. proj.	Afast.	A. const.	IA	A. proj.	Afast.	A. const.	IA	A. proj.	Afast.	A. const.	IA	A. proj.	Afast.	A. const.	IA	A. proj.	Afast.	A. const.
1	0,3			314,16	0,4			418,11	0,5			522,75	0,6			628,79	0,7			733,59	0,8			834,75
2	0,6			628,32	0,8			836,22	1,0			1.045,50	1,2			1.257,58	1,4			1.467,18	1,6			1.669,50
3	0,9			942,48	1,2			1254,33	1,5			1.568,25	1,8			1.886,37	2,1			2.200,77	2,4			2.504,25
4	1,2			1256,64	1,6			1672,44	2,0			2.091,00	2,4			2.515,16	2,8			2.934,36	3,2			3.339,00
5	1,5			1570,80	2,0			2090,55	2,5			2.613,75	3,0			3.143,95	3,5			3.667,95	4,0			4.173,75
6	1,8			1884,96	2,4			2508,66	3,0			3.136,50	3,6			3.772,74	4,2			4.401,54	4,8			5.008,50
7	2,1			2199,12	2,8			2926,77	3,5			3.659,25	4,2			4.401,53	4,9			5.135,13	5,6			5.843,25
8	2,4			2513,28	3,2			3344,88	4,0			4.182,00	4,8			5.030,32	5,6			5.868,72	6,4			6.678,00
9	2,7			2827,44	3,6			3762,99	4,5			4.704,75	5,4			5.659,11	6,3			6.602,31	7,2			7.512,75
10	3,0			3141,60	4,0			4181,10	5,0			5.227,50	6,0			6.287,90	7,0			7.335,90	8,0			8.347,50
11	3,3	314,16	7,30	3455,76	4,4	418,11	5,95	4599,21	5,5	522,75	4,75	5.750,25	6,6	628,79	3,65	6.916,69	7,7	733,59	2,65	8.069,49	8,7	834,75	1,75	9.182,25
12	3,6			3769,92	4,8			5017,32	6,0			6.273,00	7,2			7.545,48	8,4			8.803,08	9,5			10.017,00
13	3,9			4084,08	5,2			5435,43	6,5			6.795,75	7,8			8.174,27	9,1			9.536,67	10,3			10.851,75
14	4,2			4398,24	5,6			5853,54	7,0			7.318,50	8,4			8.803,06	9,8			10.270,26	11,1			11.686,50
15	4,5			4712,40	6,0			6271,65	7,5			7.841,25	9,0			9.431,85	10,5			11.003,85	11,9			12.521,25
16	4,8			5026,56	6,4			6689,76	8,0			8.364,00	9,6			10.060,64	11,2			11.737,44	12,7			13.356,00
17	5,1			5340,72	6,8			7107,87	8,5			8.886,75	10,2			10.689,43	11,9			12.471,03	13,5			14.190,75
18	5,4			5654,88	7,2			7525,98	9,0			9.409,50	10,8			11.318,22	12,6			13.204,62	14,3			15.025,50
19	5,7			5969,04	7,6			7944,09	9,5			9.932,25	11,4			11.947,01	13,3			13.938,21	15,1			15.860,25
20	6,0			6283,20	8,0			8362,20	10,0			10.455,00	12,0			12.575,80	14,0			14.671,80	15,9			16.695,00
21	6,3			6597,36	8,4			8780,31	10,5			10.977,75	12,6			13.204,59	14,7			15.405,39	16,7			17.529,75
22	6,6			6911,52	8,8			9.198,42	11,0			11.500,50	13,2			13.833,38	15,4			16.138,98	17,5			18.364,50

APÊNDICE B - Dados dos cenários – Tipologias de quadra

IA	Nom.	GAB.	Γ.O	A. proj. Máx.	A. Const. Máx.	Modelo 1			Modelo 2		Modelo 3			Modelo 4							
						A. proj.	A. const.	M1-Recurso	A. proj.	A. const.	A. proj.	A. const.	M3-Recurso	A. proj. máx. demais pavtos	A. Const. Máx. demais pavtos	A. Proj. demais pavtos	A. constr. Total	T.O. demais pavtos			
1	1.1	2	50	5.250,00	10.500,00	5.227,50	10.455,00	4,75	5.248,75	10.497,50	5.220,00	10.440,00	6								
	1.2	3	33	3.500,00	10.500,00	3.471,90	10.415,70	6,85													
2	2.1	3	67	7.000,00	21.000,00	6.960,00	20.880,00	3	6.993,44	20.980,32	6.988,80	20.966,40	3,8	4.305,00	4.305,00	4.263,90	20.958,90	41			
	2.2	4	50	5.250,00	21.000,00	5.227,50	20.910,00	4,75	5.248,75	20.995,00	5.220,00	20.880,00	6								
	2.3	5	40	4.200,00	21.000,00	4.181,10	20.905,50	5,95						4.195,20	20.976,00	7,4					
	2.4	6	33	3.500,00	21.000,00	3.471,90	20.831,40	6,85													
3	3.1	4	75	7.875,00	31.500,00	7.833,60	31.334,40	2,2	7.873,90	31.495,60	7.856,80	31.427,20	2,8	7.402,50	14.805,00	7.390,40	31.475,80	70			
	3.2	5	60	6.300,00	31.500,00	6.287,90	31.439,50	3,65	6.295,20	31.476,00	6.282,45	31.412,25	4,65	4.935,00	14.805,00	4.910,04	31.425,12	47			
	3.3	6	50	5.250,00	31.500,00	5.227,50	31.365,00	4,75	5.248,75	31.492,50	5.220,00	31.320,00	6	3.701,25	14.805,00	3.701,10	31.499,40	35			
	3.4	7	43	4.500,00	31.500,00	4.474,40	31.320,80	5,6						4.480,00	31.360,00	7					
	3.5	8	38	3.937,50	31.500,00	3.937,50	31.500,00	6,25													
	3.6	9	33	3.500,00	31.500,00	3.434,40	30.909,60	6,9													
	3.7	10	30	3.150,00	31.500,00	3.141,60	31.416,00	7,3													
4	4.1	5	80	8.400,00	42.000,00	8.347,50	41.737,50	1,75	8.388,00	41.940,00	8.396,80	41.984,00	2,2								
	4.2	6	67	7.000,00	42.000,00	6.960,00	41.760,00	3	6.993,44	41.960,64	6.988,80	41.932,80	3,8	6.326,25	25.305,00	6.287,90	41.846,60	60			
	4.3	7	57	6.000,00	42.000,00	5.940,00	41.580,00	4	5.995,04	41.965,28	6.000,00	42.000,00	5	5.061,00	25.305,00	5.000,00	41.695,00	48			
	4.4	8	50	5.250,00	42.000,00	5.227,50	41.820,00	4,75	5.248,75	41.990,00	5.220,00	41.760,00	6	4.217,50	25.305,00	4.181,10	41.781,60	40			
	4.5	9	44	4.666,67	42.000,00	4.603,10	41.427,90	5,45						4.661,25	41.951,25	6,75	3.615,00	25.305,00	3.585,60	41.794,20	34
	4.6	10	40	4.200,00	42.000,00	4.181,10	41.811,00	5,95						4.195,20	41.952,00	7,4	3.163,13	25.305,00	3.141,60	41.827,80	30
	4.7	11	36	3.818,18	42.000,00	3.779,10	41.570,10	6,45													
	4.8	12	33	3.500,00	42.000,00	3.434,40	41.212,80	6,9													
	4.9	13	31	3.230,77	42.000,00	3.213,60	41.776,80	7,2													
5	5.1	7	71	7.500,00	52.500,00	7.500,00	52.500,00	2,5	7.498,78	52.491,46	7.461,25	52.228,75	3,25	7.161,00	35.805,00	7.119,90	52.294,50	68			
	5.2	8	63	6.562,50	52.500,00	6.542,40	52.339,20	3,4	6.560,00	52.480,00	6.528,45	52.227,60	4,35	5.967,50	35.805,00	5.940,00	52.335,00	57			
	5.3	9	56	5.833,33	52.500,00	5.793,90	52.145,10	4,15	5.820,70	52.386,30	5.801,25	52.211,25	5,25	5.115,00	35.805,00	5.090,40	52.327,80	48			
	5.4	10	50	5.250,00	52.500,00	5.227,50	52.275,00	4,75	5.248,75	52.487,50	5.220,00	52.200,00	6	4.475,63	35.805,00	4.474,40	52.490,20	43			
	5.5	11	45	4.772,73	52.500,00	4.689,90	51.588,90	5,35						4.771,20	52.483,20	6,6	3.978,33	35.805,00	3.977,60	52.493,40	38
	5.6	12	42	4.375,00	52.500,00	4.347,50	52.170,00	5,75						4.372,45	52.469,40	7,15	3.580,50	35.805,00	3.547,50	52.170,00	34
	5.7	13	38	4.038,46	52.500,00	3.977,60	51.708,80	6,2													
	5.8	14	36	3.750,00	52.500,00	3.740,00	52.360,00	6,5													
	5.9	15	33	3.500,00	52.500,00	3.434,40	51.516,00	6,9													
	5.10	16	31	3.281,25	52.500,00	3.249,90	51.998,40	7,15													
6	6.1	8	75	7.875,00	63.000,00	7.833,60	62.668,80	2,2	7.873,92	62.991,36	7.856,80	62.854,40	2,8	7.717,50	46.305,00	7.665,90	62.690,40	73			
	6.2	9	67	7.000,00	63.000,00	6.960,00	62.640,00	3	6.993,44	62.940,96	6.988,80	62.899,20	3,8	6.615,00	46.305,00	6.593,90	62.852,30	63			
	6.3	10	60	6.300,00	63.000,00	6.287,90	62.879,00	3,65	6.295,18	62.951,80	6.282,45	62.824,50	4,65	5.788,13	46.305,00	5.745,60	62.659,80	55			
	6.4	11	55	5.727,27	63.000,00	5.697,50	62.672,50	4,25	5.725,44	62.979,84	5.722,45	62.946,95	5,35	5.145,00	46.305,00	5.135,90	62.918,10	49			
	6.5	12	50	5.250,00	63.000,00	5.227,50	62.730,00	4,75	5.248,75	62.985,00	5.220,00	62.640,00	6	4.630,50	46.305,00	4.603,10	62.726,00	44			
	6.6	13	46	4.846,15	63.000,00	4.821,60	62.680,80	5,2						4.845,00	62.985,00	6,5	4.209,55	46.305,00	4.181,10	62.687,10	40
	6.7	14	43	4.500,00	63.000,00	4.474,40	62.641,60	5,6						4.480,00	62.720,00	7	3.858,75	46.305,00	3.857,90	62.989,80	37
	6.8	15	40	4.200,00	63.000,00	4.181,10	62.716,50	5,95						4.195,20	62.928,00	7,4	3.561,92	46.305,00	3.547,50	62.812,50	34
	6.9	16	38	3.937,50	63.000,00	3.937,50	63.000,00	6,25													
	6.10	17	35	3.705,88	63.000,00	3.701,10	62.918,70	6,55													
	6.11	18	33	3.500,00	63.000,00	3.434,40	61.819,20	6,9													
	6.12	19	32	3.315,79	63.000,00	3.286,40	62.441,60	7,1													
	6.13	20	30	3.150,00	63.000,00	3.141,60	62.832,00	7,3													
7	7.1	9	78	8.166,67	73.500,00	8.117,10	73.053,90	1,95	8.166,70	73.500,30	8.125,00	73.125,00	2,5								
	7.2	10	70	7.350,00	73.500,00	7.335,90	73.359,00	2,65	7.345,90	73.459,00	7.331,20	73.312,00	3,4	7.100,63	56.805,00	7.066,40	73.226,20	67			
	7.3	11	64	6.681,82	73.500,00	6.645,60	73.101,60	3,3	6.670,78	73.378,58	6.652,80	73.180,80	4,2	6.311,67	56.805,00	6.287,90	73.286,10	60			
	7.4	12	58	6.125,00	73.500,00	6.087,90	73.054,80	3,85	6.113,74	73.364,88	6.120,45	73.445,40	4,85	5.680,50	56.805,00	5.649,60	73.191,00	54			
	7.5	13	54	5.653,85	73.500,00	5.649,60	73.444,80	4,3	5.643,00	73.359,00	5.644,05	73.372,65	5,45	5.164,09	56.805,00	5.135,90	73.189,90	49			
	7.6	14	50	5.250,00	73.500,00	5.227,50	73.185,00	4,75	5.248,75	73.482,50	5.220,00	73.080,00	6	4.733,75	56.805,00	4.733,60	73.498,20	45			
	7.7	15	47	4.900,00	73.500,00	4.865,90	72.988,50	5,15						4.882,05	73.230,75	6,45	4.369,62	56.805,00	4.347,50	73.212,50	41
	7.8	16	44	4.593,75	73.500,00	4.560,00	72.960,00	5,5						4.588,45	73.415,20	6,85	4.057,50	56.805,00	4.017,90	72.945,60	38
	7.9	17	41	4.323,53	73.500,00	4.305,60	73.195,20	5,8						4.301,25	73.121,25	7,25	3.787,00	56.805,00	3.779,10	73.381,50	36
	7.10	18	39	4.083,33	73.500,00	4.058,40	73.051,20	6,1						4.055,20	72.993,60	7,6	3.550,31	56.805,00	3.547,50	73.455,00	34
	7.11	19	37	3.868,42	73.500,00	3.857,90	73.300,10	6,35													
	7.12	20	35	3.675,00	73.500,00	3.662,40	73.248,00	6,6													
	7.13	21	33	3.500,00	73.500,00	3.434,40	72.122,40	6,9													
	7.14	22	32	3.340,91	73.500,00	3.323,10	73.108,20	7													

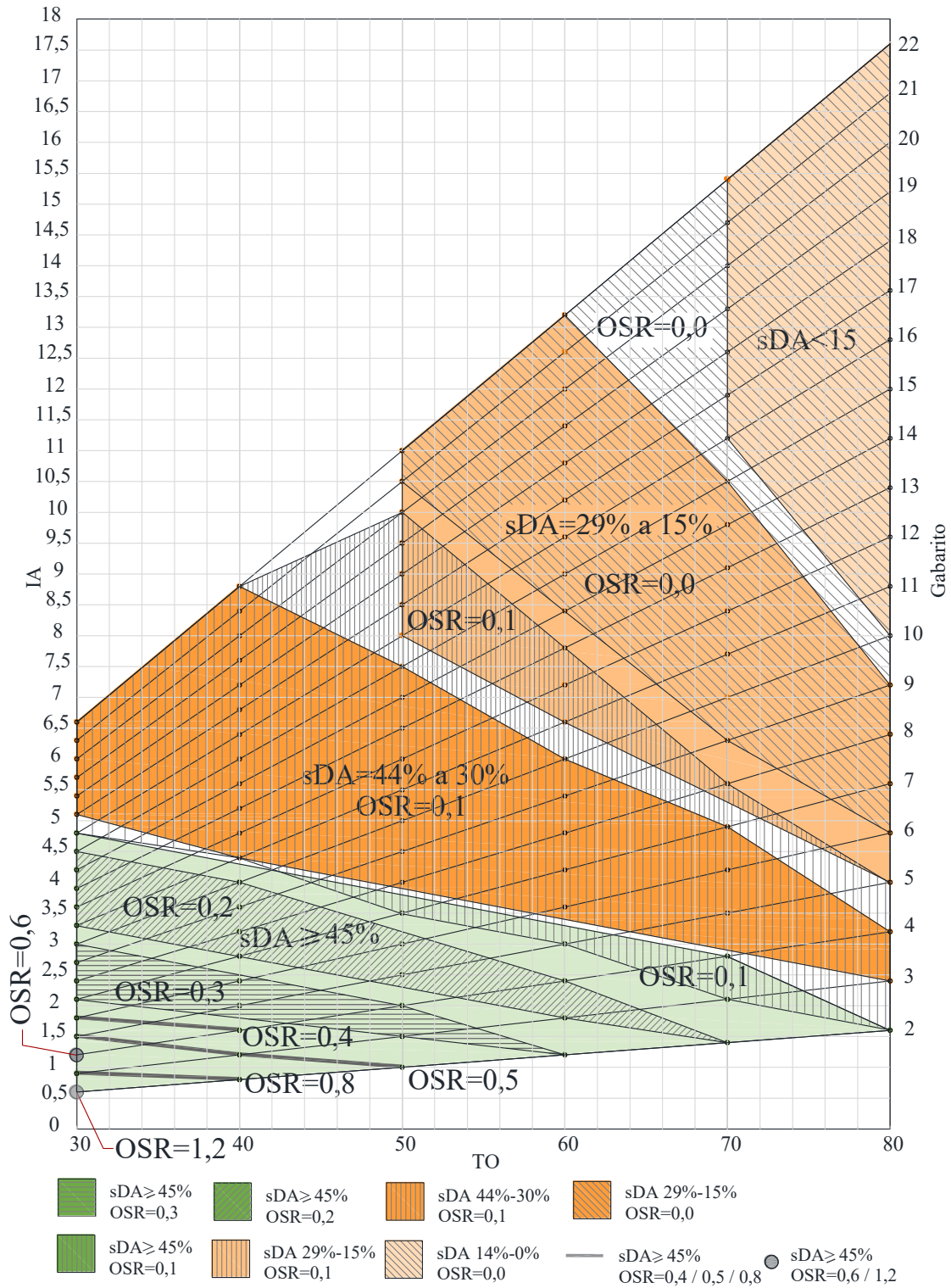
APÊNDICE C - sDA_{edif} –Bloco isolado no lote

BLOCO ISOLADO NO LOTE - sDA _{edif}																								
GAB	TO=30%				TO=40%				TO=50%				TO=60%				TO=70%				TO=80%			
	sDA	Afast Obst.	IA	OSR	sDA	Afast Obst.	IA	OSR	sDA	Afast Obst.	IA	OSR	sDA	Afast Obst.	IA	OSR	sDA	Afast Obst.	IA	OSR	sDA	Afast Obst.	IA	OSR
22	40	15	6,6	0,1	30	12	8,8	0,1	23	10	11,0	0,0	16	7	13,2	0,0	10	5	15,4	0,0	6	4	17,5	0,0
21	41	15	6,3	0,1	31	12	8,4	0,1	23	10	10,5	0,0	17	7	12,6	0,0	11	5	14,7	0,0	6	4	16,7	0,0
20	42	15	6,0	0,1	32	12	8,0	0,1	25	10	10,0	0,1	17	7	12,0	0,0	11	5	14,0	0,0	6	4	15,9	0,0
19	42	15	5,7	0,1	33	12	7,6	0,1	25	10	9,5	0,1	18	7	11,4	0,0	12	5	13,3	0,0	7	4	15,1	0,0
18	43	15	5,4	0,1	34	12	7,2	0,1	26	10	9,0	0,1	19	7	10,8	0,0	12	5	12,6	0,0	7	4	14,3	0,0
17	44	15	5,1	0,1	34	12	6,8	0,1	27	10	8,5	0,1	20	7	10,2	0,0	13	5	11,9	0,0	8	4	13,5	0,0
16	45	15	4,8	0,1	36	12	6,4	0,1	28	10	8,0	0,1	21	7	9,6	0,0	14	5	11,2	0,0	8	4	12,7	0,0
15	46	15	4,5	0,2	37	12	6,0	0,1	30	10	7,5	0,1	22	7	9,0	0,0	15	5	10,5	0,0	9	4	11,9	0,0
14	48	15	4,2	0,2	39	12	5,6	0,1	31	10	7,0	0,1	24	7	8,4	0,0	16	5	9,8	0,0	10	4	11,1	0,0
13	49	15	3,9	0,2	40	12	5,2	0,1	33	10	6,5	0,1	25	7	7,8	0,1	17	5	9,1	0,0	10	4	10,3	0,0
12	50	15	3,6	0,2	41	12	4,8	0,1	34	10	6,0	0,1	27	7	7,2	0,1	19	5	8,4	0,0	11	4	9,5	0,0
11	51	15	3,3	0,2	43	12	4,4	0,1	36	10	5,5	0,1	29	7	6,6	0,1	21	5	7,7	0,0	12	4	8,7	0,0
10	53	15	3,0	0,2	45	12	4,0	0,2	38	10	5,0	0,1	30	7	6,0	0,1	23	5	7,0	0,0	14	4	8,0	0,0
9	55	15	2,7	0,3	47	12	3,6	0,2	40	10	4,5	0,1	33	7	5,4	0,1	25	5	6,3	0,0	15	4	7,2	0,0
8	56	15	2,4	0,3	49	12	3,2	0,2	43	10	4,0	0,1	36	7	4,8	0,1	27	5	5,6	0,1	18	4	6,4	0,0
7	58	15	2,1	0,3	52	12	2,8	0,2	46	10	3,5	0,1	39	7	4,2	0,1	31	5	4,9	0,1	21	4	5,6	0,0
6	61	15	1,8	0,4	56	12	2,4	0,3	50	10	3,0	0,2	43	7	3,6	0,1	35	5	4,2	0,1	25	4	4,8	0,0
5	63	15	1,5	0,5	59	12	2,0	0,3	54	10	2,5	0,2	47	7	3,0	0,1	39	5	3,5	0,1	29	4	4,0	0,1
4	67	15	1,2	0,6	63	12	1,6	0,4	58	10	2,0	0,3	53	7	2,4	0,2	45	5	2,8	0,1	35	4	3,2	0,1
3	69	15	0,9	0,8	68	12	1,2	0,5	63	10	1,5	0,3	59	7	1,8	0,2	52	5	2,1	0,1	44	4	2,4	0,1
2	74	15	0,6	1,2	73	12	0,8	0,8	71	10	1,0	0,5	67	7	1,2	0,3	63	5	1,4	0,2	57	4	1,6	0,1

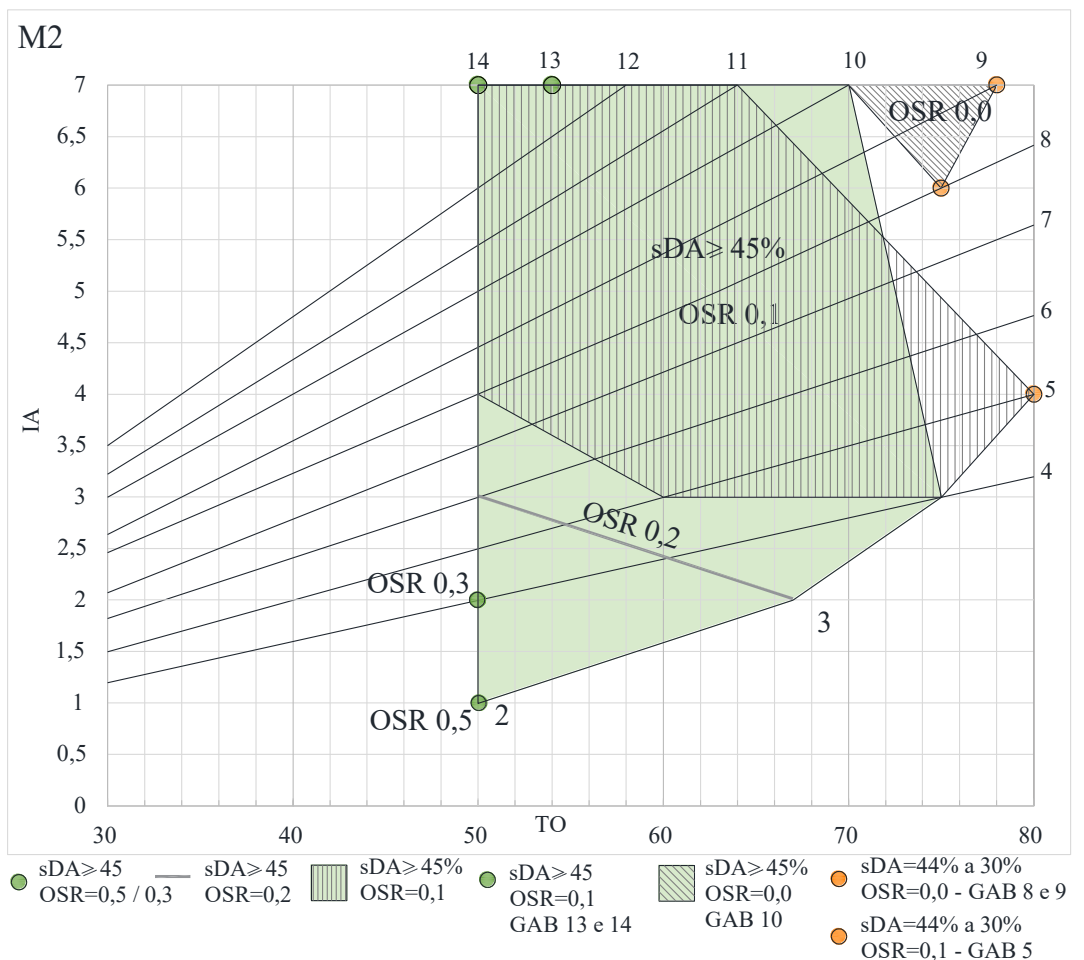
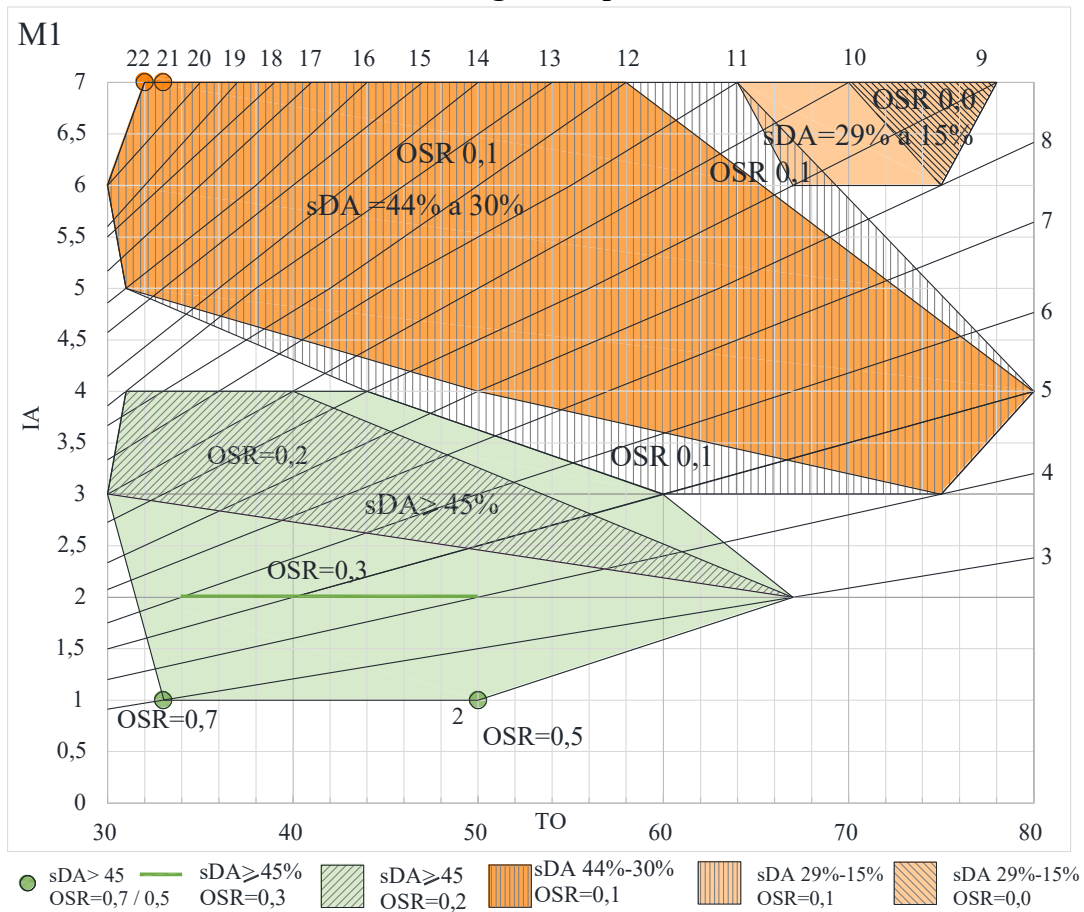


■ M1 ▲ M2 ● M3 □ M4 — sDA Limite

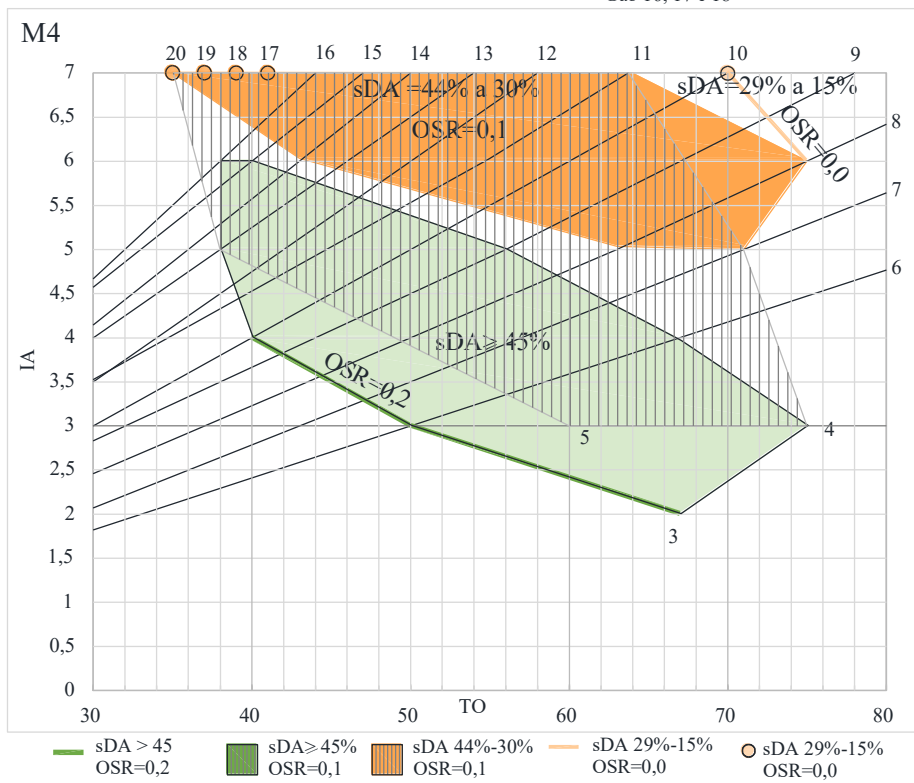
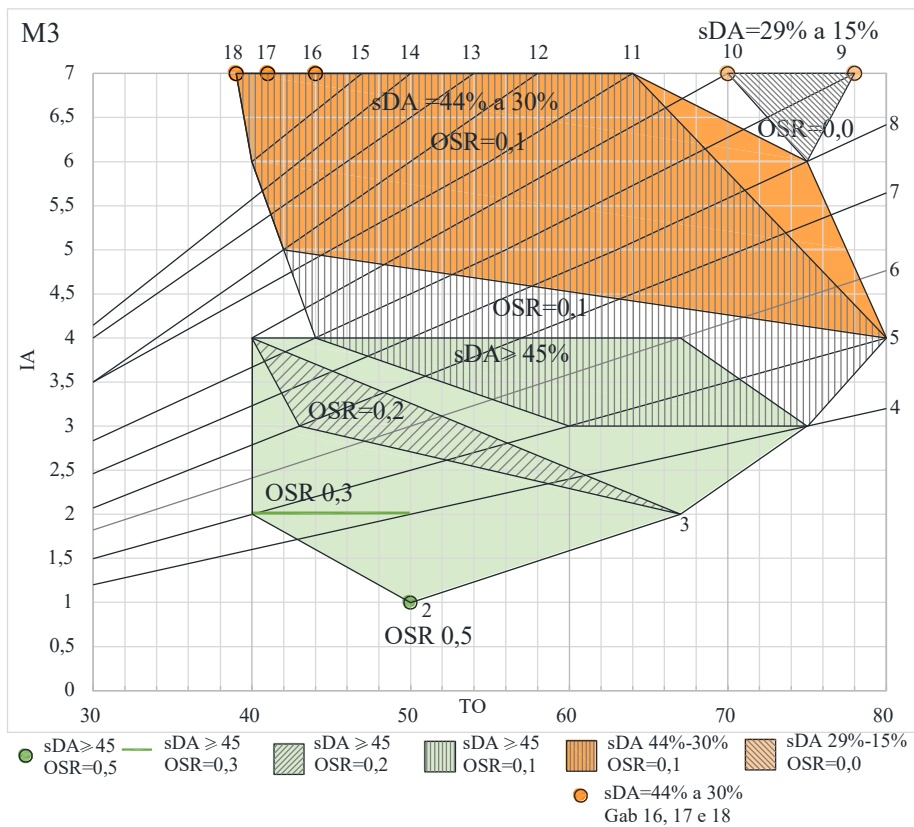
APÊNDICE E - Diagrama Spacemate – Bloco isolado no lote

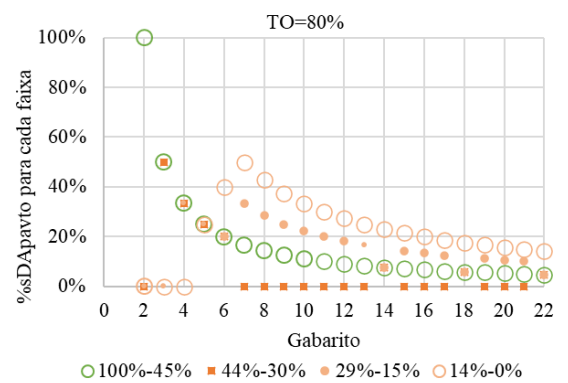
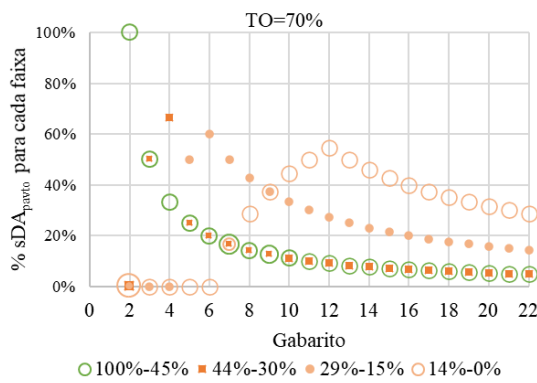
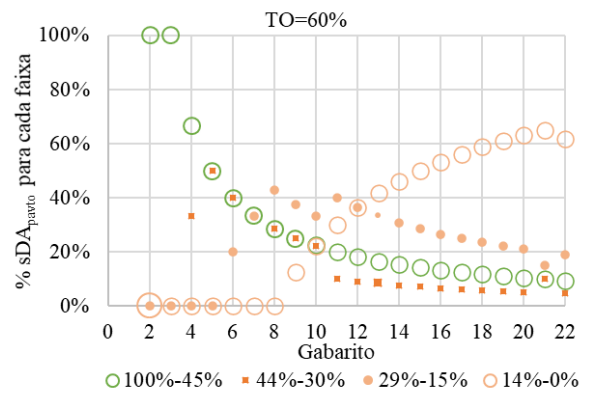
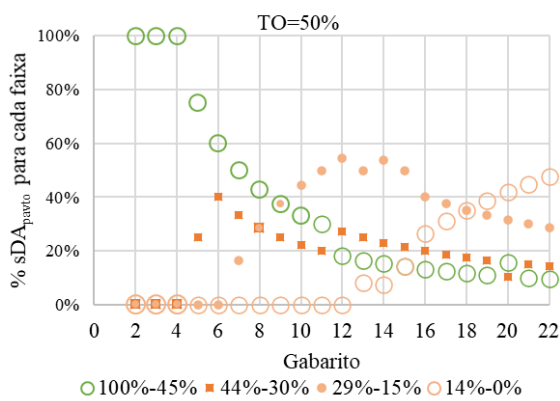
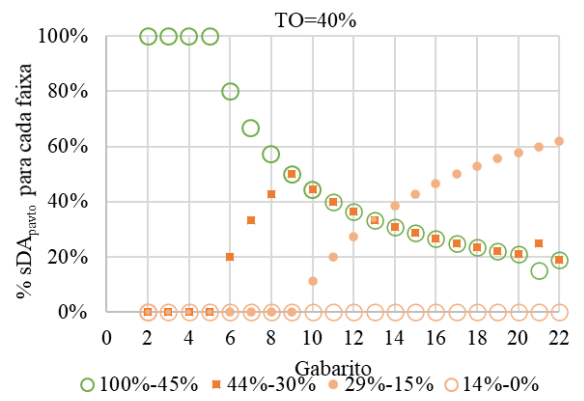
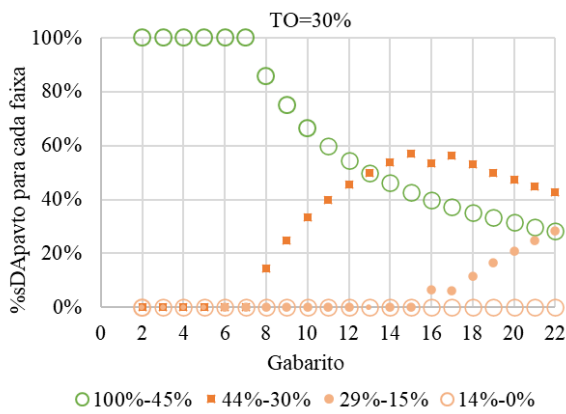


APÊNDICE F - Diagrama Spacemate - M1 e M2



APÊNDICE G - Diagrama *Spacemate* – M3 e M4





APÊNDICE I – sDA_{pavto} e categorização das faixas de sDA – M1

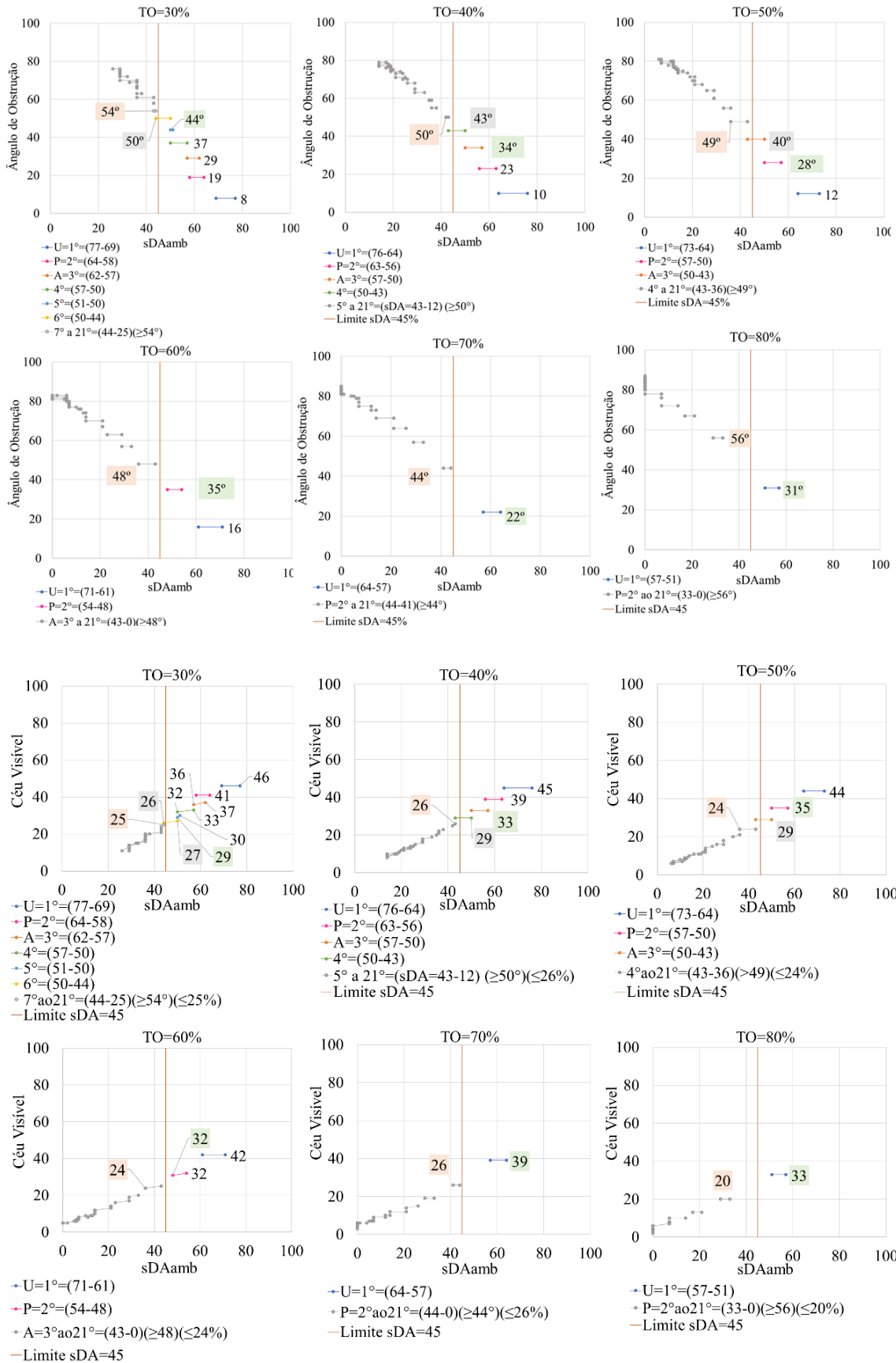
M1		GABARITO - AMBIENTE 2 + 3																					M1		GABARITO - AMBIENTE 2 + 3																					M1		GABARITO - AMBIENTE 2 + 3																								
IA 3		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	IA 4		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	IA 5		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22				
PAVIMENTOS	22																						22																						22																											
	21																							21																							21																									
	20																							20																									20																							
	19																							19																									19																							
	18																							18																									18																							
	17																							17																									17																							
	16																							16																									16																							
	15																							15																									15																							
	14																							14																									14																							
	13																							13																									13																							
	12																							12																									12																							
	11																							11																									11																							
	10																							10																									10																							
	9																							9																									9																							
	8																							8																									8																							
	7																							7																									7																							
	6																							6																									6																							
	5																							5																									5																							
	4																							4																									4																							
	3																							3																									3																							
	2																							2																									2																							
	TO																							TO																								TO																								
TO		75	60	50	43	38	33	30	TO		80	67	57	50	44	40	36	33	31	TO		71	63	56	50	45	42	38	36	33	31																																									

M1		GABARITO - AMBIENTE 2 + 3																					M1		GABARITO - AMBIENTE 2 + 3																					
IA 6		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	IA 7		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
PAVIMENTOS	22																						22																							
	21																						21																							
	20																						20																							
	19																						19																							
	18																						18																							
	17																						17																							
	16																						16																							
	15																						15																							
	14																						14																							
	13																						13																							
	12																						12																							
	11																						11																							
	10																						10																							
	9																						9																							
	8																						8																							
	7																						7																							
	6																						6																							
	5																						5																							
	4																						4																							
	3																						3																							
	2																						2																							
	TO		75	67	60</																																									

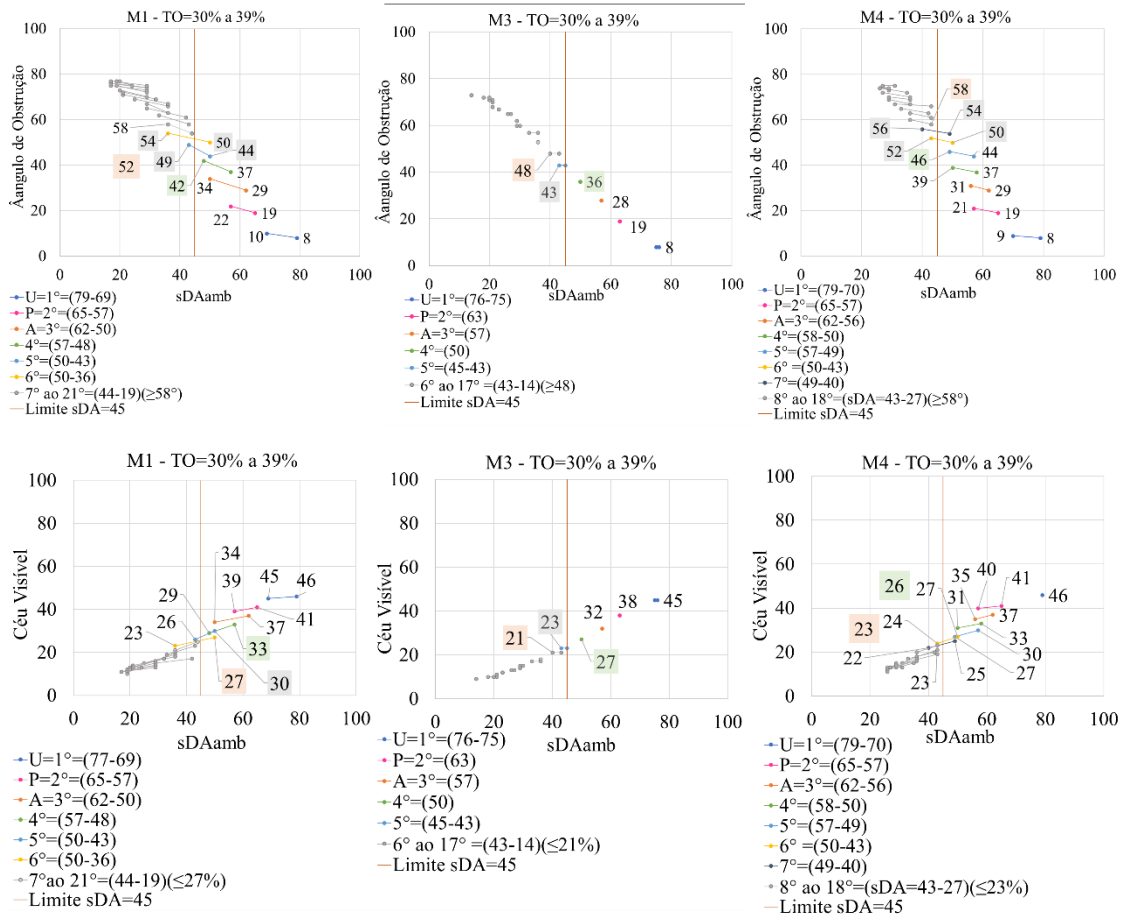
APÊNDICE M – sDA_{amb} – Bloco isolado no lote

sDA _{amb}																	
TO=30%						TO=40%						TO=50%					
GAB	IA	1	2E	2D	3	GAB	IA	1	2E	2D	3	GAB	IA	1	2E	2D	3
22	6,6	52	41	40	39	22	8,8	47	31	31	29	22	11	42	23	23	22
21	6,3	52	41	41	40	21	8,4	48	32	32	30	21	10,5	43	24	24	22
20	6	53	42	42	41	20	8	48	33	33	31	20	10	44	25	25	23
19	5,7	54	43	43	41	19	7,6	49	33	33	32	19	9,5	45	26	26	24
18	5,4	54	44	43	43	18	7,2	50	34	34	33	18	9	46	27	27	25
17	5,1	55	45	44	44	17	6,8	51	35	35	34	17	8,5	47	28	28	27
16	4,8	56	45	45	45	16	6,4	52	36	36	35	16	8	48	28	29	28
15	4,5	57	46	46	46	15	6	53	37	37	37	15	7,5	50	30	30	29
14	4,2	57	48	48	47	14	5,6	54	39	39	38	14	7	51	31	32	30
13	3,9	58	49	49	48	13	5,2	55	40	40	39	13	6,5	52	33	33	32
12	3,6	59	50	50	50	12	4,8	56	42	42	41	12	6	53	35	35	34
11	3,3	60	51	51	51	11	4,4	58	44	43	43	11	5,5	55	36	37	36
10	3	60	53	52	53	10	4	58	45	45	44	10	5	57	38	39	38
9	2,7	61	55	54	54	9	3,6	60	47	47	46	9	4,5	57	41	41	40
8	2,4	63	57	56	56	8	3,2	60	50	49	48	8	4	59	44	44	43
7	2,1	63	59	58	58	7	2,8	62	52	52	50	7	3,5	61	47	47	45
6	1,8	64	61	60	60	6	2,4	63	56	55	54	6	3	62	50	50	49
5	1,5	65	64	63	62	5	2	64	60	59	58	5	2,5	63	55	54	53
4	1,2	65	68	66	66	4	1,6	65	64	63	61	4	2	65	60	59	56
3	0,9	66	71	68	68	3	1,2	66	69	67	65	3	1,5	67	64	64	61
2	0,6	64	76	71	74	2	0,8	64	76	71	71	2	1	64	73	70	69
TO=60%						TO=70%						TO=80%					
GAB	IA	1	2E	2D	3	GAB	IA	1	2E	2D	3	GAB	IA	1	2E	2D	3
22	13,2	39	16	16	15	22	15,4	37	10	10	10	22	17,6	34	6	6	7
21	12,6	40	17	17	16	21	14,7	37	10	10	11	21	16,8	35	6	6	7
20	12	41	18	18	17	20	14	38	11	11	11	20	16	36	6	6	7
19	11,4	42	19	19	18	19	13,3	39	12	12	12	19	15,2	38	6	7	7
18	10,8	43	19	19	19	18	12,6	41	12	12	13	18	14,4	39	7	7	8
17	10,2	45	20	20	20	17	11,9	42	13	13	13	17	13,6	40	7	7	8
16	9,6	46	21	21	22	16	11,2	44	14	14	14	16	12,8	42	8	8	9
15	9	47	22	22	23	15	10,5	45	15	15	15	15	12	43	8	8	10
14	8,4	49	24	24	24	14	9,8	47	16	16	17	14	11,2	44	9	10	10
13	7,8	50	25	25	25	13	9,1	48	17	17	18	13	10,4	46	10	10	11
12	7,2	52	26	26	27	12	8,4	50	19	19	19	12	9,6	48	11	11	12
11	6,6	53	28	28	29	11	7,7	52	21	21	21	11	8,8	50	12	12	13
10	6	55	30	30	31	10	7	53	23	23	24	10	8	52	13	13	15
9	5,4	56	32	32	34	9	6,3	56	25	25	25	9	7,2	54	15	15	17
8	4,8	58	35	35	37	8	5,6	57	27	27	28	8	6,4	56	17	17	19
7	4,2	60	39	39	39	7	4,9	59	31	30	32	7	5,6	58	20	20	22
6	3,6	61	43	42	43	6	4,2	60	34	34	36	6	4,8	60	24	25	26
5	3	62	47	47	48	5	3,5	62	39	38	40	5	4	62	29	28	30
4	2,4	64	54	53	52	4	2,8	63	45	45	44	4	3,2	63	35	35	37
3	1,8	67	61	58	58	3	2,1	66	54	53	51	3	2,4	66	43	45	44
2	1,2	68	64	64	60	2	1,4	68	64	64	60	2	1,6	69	57	57	56

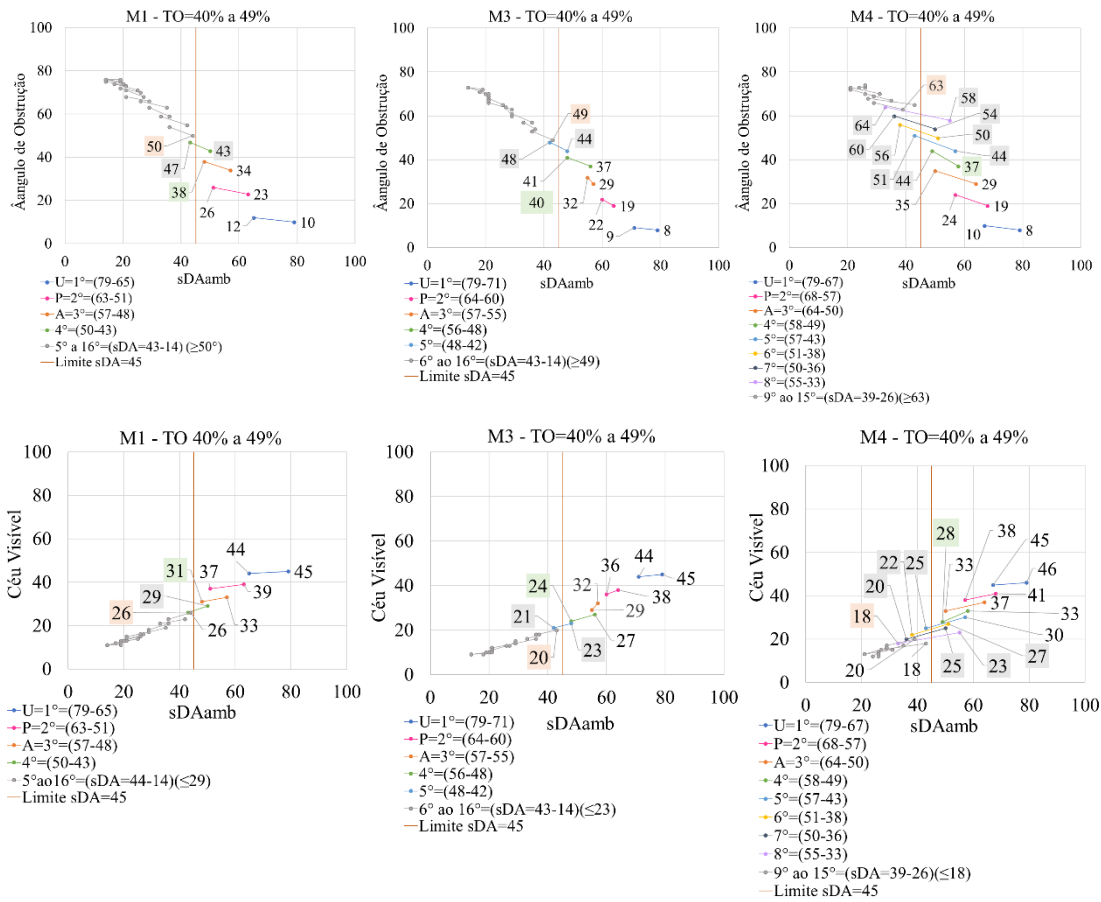
APÊNDICE O – Ângulo e % Céu Visível – Lote



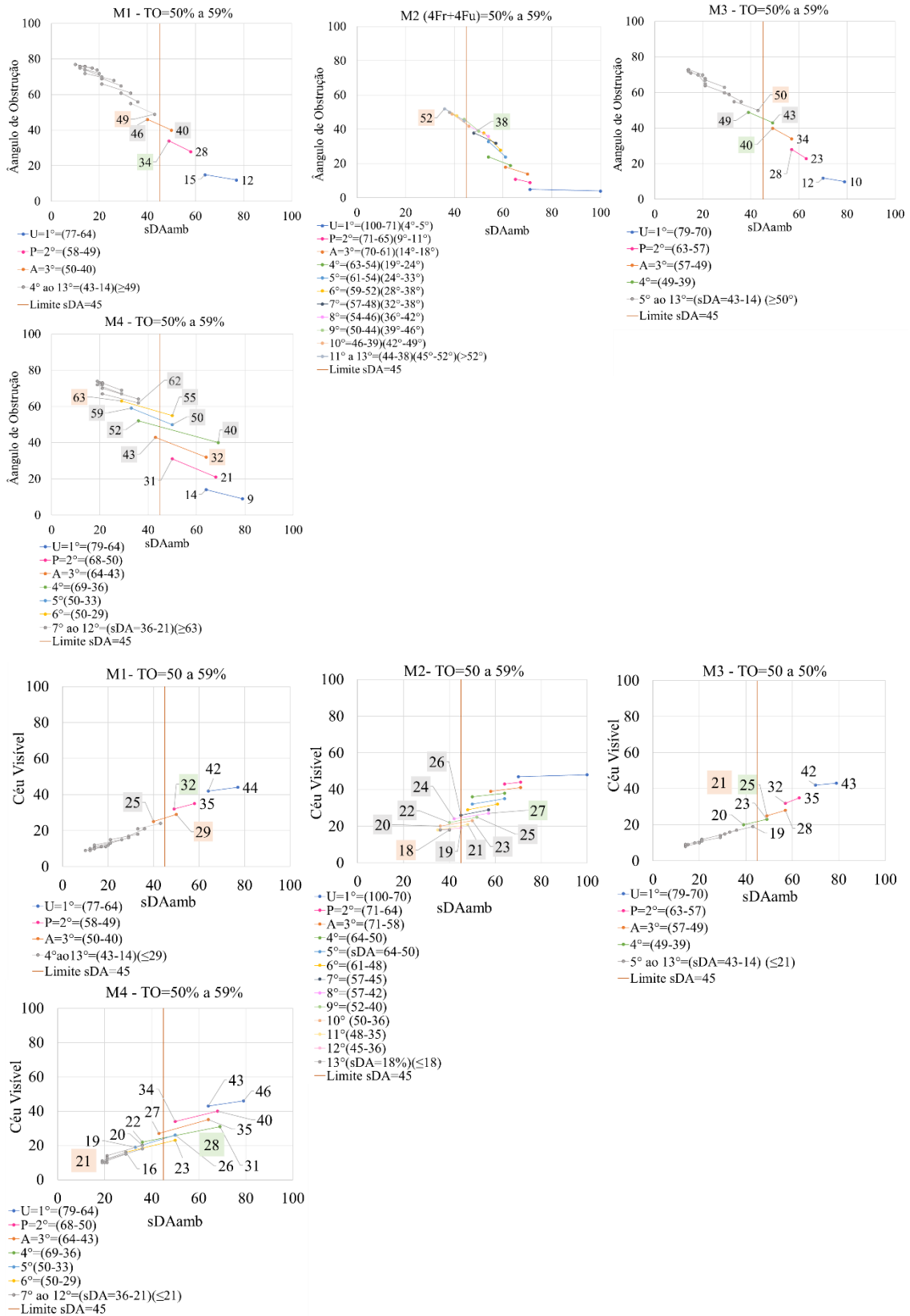
APÊNDICE P – Ângulo e % Céu Visível das quadras: 30% a 39%



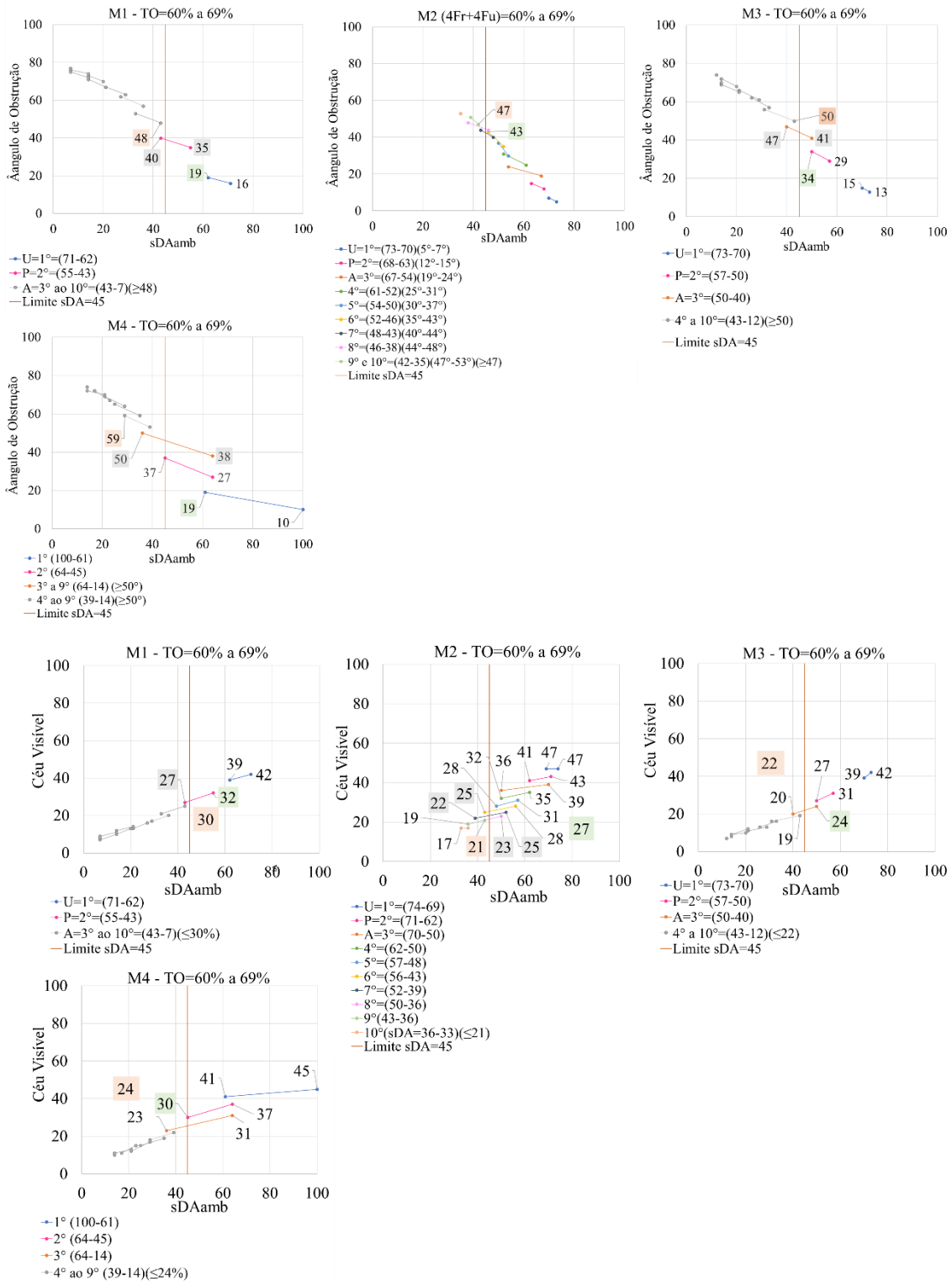
APÊNDICE Q – Ângulo e % Céu Visível das quadras: 40% a 49%



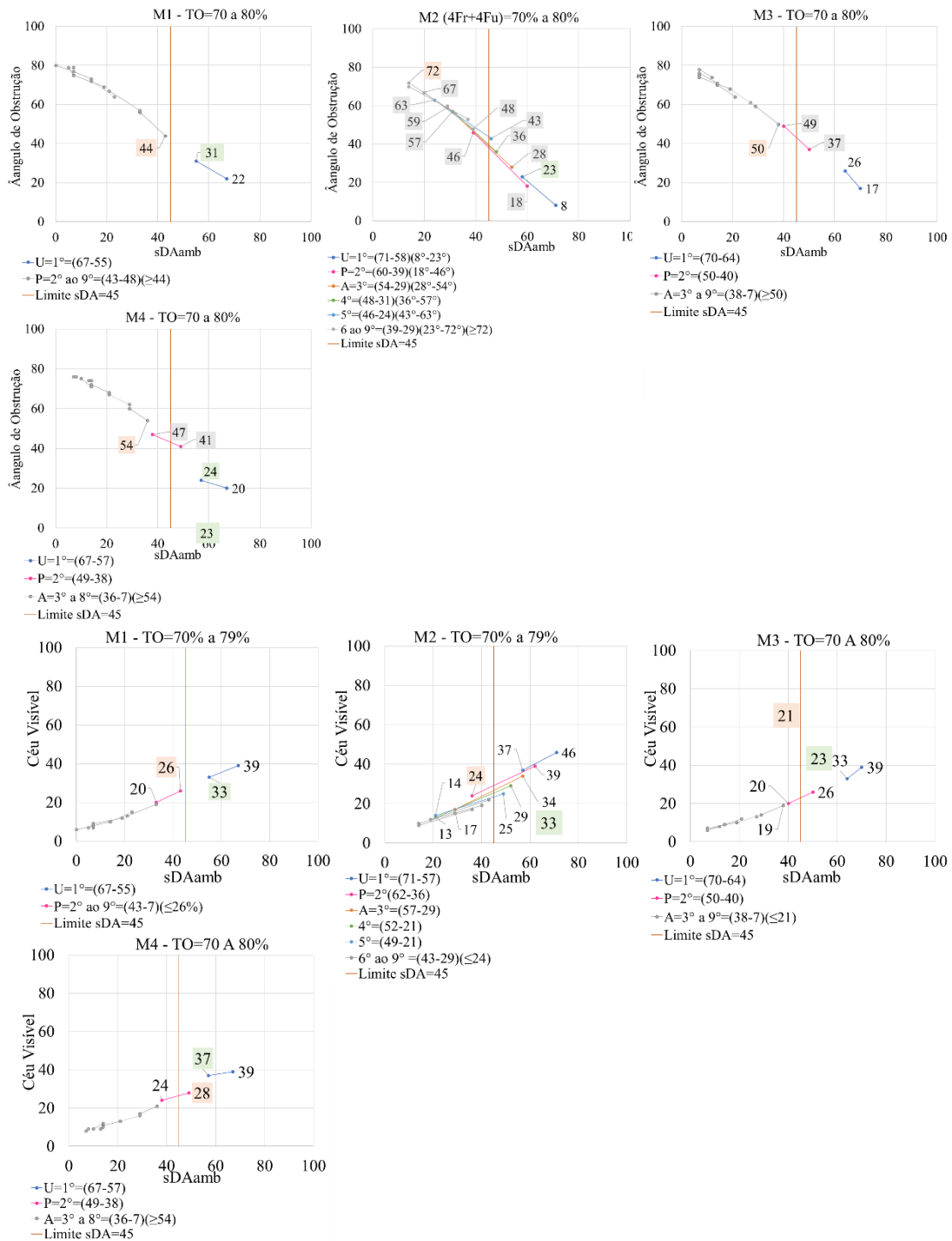
APÊNDICE R – Ângulo e % Céu Visível das quadras: 50% a 59%



APÊNDICE S – Ângulo e % de Céu Visível das quadras: 60% a 69%



APÊNDICE T – Ângulo e % de Céu Visível das quadras: 70% a 80%



APÊNDICE U – Tabela de Correlação – Bloco isolado no lote

TABELA DE CORRELAÇÃO - BLOCO ISOLADO NO LOTE																																
PAVTO DE ANÁLISE		TO=30%								TO=40%								PAVTO DE ANÁLISE		TO=50%												
		sDA Amb. 2E+2D +3	Ang. Obst.	% Céu Visível	Arbst. Obsr.	GAB	IA		sDA Amb. 2E+2D +3	Ang. Obst.	% Céu Visível	Arbst. Obsr.	GAB	IA		sDA Amb. 2E+2D +3	Ang. Obst.			% Céu Visível	Arbst. Obsr.	GAB	IA									
U (1°)	77	69	8	46	15	22	2	6,6	0,6	U (1°)	76	64	10	45	12	22	2	8,8	0,8	U (1°)	73	64	12	44	10	22	2	11	1,0			
P (2°)	64	58	19	41	15	22	3	6,6	0,9	P (2°)	63	56	23	39	12	22	3	8,8	1,2	P (2°)	57	50	28	35	10	22	3	11	1,5			
3°	62	57	29	37	36	15	22	4	6,6	1,2	3°	57	50	34	33	12	22	4	8,8	1,6	3°	50	43	40	29	10	22	4	11	2,0		
4°	57	50	37	33	32	15	22	5	6,6	1,5	4°	50	43	43	29	12	22	5	8,8	2,0	4°	43	36	49	24	10	22	5	11	2,5		
5°	51	50	44	30	29	15	22	6	6,6	1,8	5°	43	42	50	26	25	12	22	6	8,8	2,4	5°	36	33	56	21	20	10	22	6	11	3,0
6°	55	44	50	27	26	15	22	7	6,6	2,1	6°	38	36	55	23	22	12	22	7	8,8	2,8	6°	29	29	61	18	18	10	22	7	11	3,5
7°	45	43	54	25	24	15	22	8	6,6	2,4	7°	36	35	59	21	20	12	22	8	8,8	3,2	7°	29	26	65	16	16	10	22	8	11	4,0
8°	43	58	23	22	15	22	9	6,6	2,7	8°	33	29	63	19	18	12	22	9	8,8	3,6	8°	24	21	68	15	14	10	22	9	11	4,5	
9°	43	36	61	21	20	15	22	10	6,6	3,0	9°	29	29	65	17	16	12	22	10	8,8	4,0	9°	21	20	70	13	12	10	22	10	11	5,0
10°	37	36	63	20	19	15	22	11	6,6	3,3	10°	29	26	68	16	15	12	22	11	8,8	4,4	10°	21	19	72	12	11	10	22	11	11	5,5
11°	36	66	19	17	15	22	12	6,6	3,6	11°	26	24	70	15	14	12	22	12	8,8	4,8	11°	18	14	74	11	10	10	22	12	11	6,0	
12°	36	67	18	16	15	22	13	6,6	3,9	12°	25	21	71	14	13	12	22	13	8,8	5,2	12°	16	14	75	11	10	10	22	13	11	6,5	
13°	36	33	69	17	15	15	22	14	6,6	4,2	13°	24	21	73	13	12	12	22	14	8,8	5,6	13°	14	13	76	10	9	10	22	14	11	7,0
14°	36	29	70	16	14	15	22	15	6,6	4,5	14°	23	19	74	13	11	12	22	15	8,8	6,0	14°	13	12	77	9	8	10	22	15	11	7,5
15°	32	29	72	15	13	15	22	16	6,6	4,8	15°	20	19	75	12	11	12	22	16	8,8	6,4	15°	12	10	78	9	8	10	22	16	11	8,0
16°	29	73	14	13	15	22	17	6,6	5,1	16°	19	17	76	11	10	12	22	17	8,8	6,8	16°	12	7	79	9	7	10	22	17	11	8,5	
17°	29	74	14	12	15	22	18	6,6	5,4	17°	19	14	77	11	10	12	22	18	8,8	7,2	17°	12	7	79	8	7	10	22	18	11	9,0	
18°	29	75	13	11	15	22	19	6,6	5,7	18°	18	14	77	10	9	12	22	19	8,8	7,6	18°	12	7	80	8	6	10	22	19	11	9,5	
19°	29	75	13	11	15	22	20	6,6	6,0	19°	18	14	78	10	9	12	22	20	8,8	8,0	19°	11	7	80	7	6	10	22	20	11	10,0	
20°	29	26	76	13	11	15	22	21	6,6	6,3	20°	17	14	79	10	8	12	22	21	8,8	8,4	20°	7	6	81	7	6	10	22	21	11	10,5
21°	29	25	77	13	10	15	22	6,6		21°	17	12	79	9	8	12	22	21	8,8		21°	7	6	81	7	6	10	22	21	11		
PAVTO DE ANÁLISE		TO=60%								TO=70%								PAVTO DE ANÁLISE		TO=80%												
		sDA Amb. 2E+2D +3	Ang. Obst.	% Céu Visível	Arbst. Obsr.	GAB	IA		sDA Amb. 2E+2D +3	Ang. Obst.	% Céu Visível	Arbst. Obsr.	GAB	IA		sDA Amb. 2E+2D +3	Ang. Obst.			% Céu Visível	Arbst. Obsr.	GAB	IA									
U (1°)	71	61	16	42	7	22	2	13,2	1,2	U (1°)	64	57	22	39	5	22	2	15,4	1,4	U (1°)	57	51	31	33	4	22	2	17,5	1,6			
P (2°)	54	48	35	32	31	7	22	3	13,2	1,8	P (2°)	44	41	44	26	5	22	3	15,4	2,1	P (2°)	33	29	56	20	4	22	3	17,5	2,4		
3°	43	36	48	25	24	7	22	4	13,2	2,4	3°	33	29	57	19	5	22	4	15,4	2,8	3°	21	17	67	13	4	22	4	17,5	3,2		
4°	33	29	57	20	19	7	22	5	13,2	3,0	4°	26	21	64	15	14	5	22	5	15,4	3,5	4°	14	7	72	10	4	22	5	17,5	4,0	
5°	29	23	63	17	16	7	22	6	13,2	3,6	5°	21	14	69	12	5	22	6	15,4	4,2	5°	7	7	76	8	4	22	6	17,5	4,8		
6°	21	21	67	14	14	7	22	7	13,2	4,2	6°	14	12	73	10	5	22	7	15,4	4,9	6°	7	0	78	7	6	4	22	7	17,5	5,6	
7°	21	14	70	13	12	7	22	8	13,2	4,8	7°	12	7	75	9	5	22	8	15,4	5,6	7°	0	0	80	6	4	22	8	17,5	6,4		
8°	14	14	72	11	10	7	22	9	13,2	5,4	8°	7	7	77	8	5	22	9	15,4	6,3	8°	0	0	81	5	4	22	9	17,5	7,2		
9°	14	13	74	10	9	7	22	10	13,2	6,0	9°	7	6	79	7	5	22	10	15,4	7,0	9°	0	0	82	4	4	22	10	17,5	8,0		
10°	12	11	76	9	8	7	22	11	13,2	6,6	10°	5	4	80	7	6	5	22	11	15,4	7,7	10°	0	0	83	4	4	22	11	17,5	8,7	
11°	10	7	77	9	8	7	22	12	13,2	7,2	11°	1	0	81	6	5	5	22	12	15,4	8,4	11°	0	0	84	4	3	4	22	12	17,5	9,5
12°	7	7	78	8	7	7	22	13	13,2	7,8	12°	0	0	81	6	5	5	22	13	15,4	9,1	12°	0	0	84	4	3	4	22	13	17,5	10,3
13°	7	7	79	8	7	7	22	14	13,2	8,4	13°	0	0	82	5	5	5	22	14	15,4	9,8	13°	0	0	85	3	3	4	22	14	17,5	11,1
14°	7	6	80	7	6	7	22	15	13,2	9,0	14°	0	0	83	5	5	5	22	15	15,4	10,5	14°	0	0	85	3	3	4	22	15	17,5	11,9
15°	6	5	81	7	6	7	22	16	13,2	9,6	15°	0	0	83	5	4	5	22	16	15,4	11,2	15°	0	0	85	3	2	4	22	16	17,5	12,7
16°	6	0	81	6	7	22	17	13,2	10,2	16°	0	0	84	4	5	5	22	17	15,4	11,9	16°	0	0	86	3	2	4	22	17	17,5	13,5	
17°	6	0	82	6	5	7	22	18	13,2	10,8	17°	0	0	84	4	5	5	22	18	15,4	12,6	17°	0	0	86	3	2	4	22	18	17,5	14,3
18°	6	0	82	6	5	7	22	19	13,2	11,4	18°	0	0	84	4	5	5	22	19	15,4	13,3	18°	0	0	86	3	2	4	22	19	17,5	15,1
19°	6	0	83	6	5	7	22	20	13,2	12,0	19°	0	0	85	4	5	5	22	20	15,4	14,0	19°	0	0	86	3	2	4	22	20	17,5	15,9
20°	2	0	83	5	7	22	21	13,2	12,6	20°	0	0	85	4	3	5	22	21	15,4	14,7	20°	0	0	87	3	2	4	22	21	17,5	16,7	
21°	0	0	83	5	7	22		13,2		21°	0	0	85	4	3	5	22		15,4		21°	0	0	87	3	2	4	22		17,5		

APÊNDICE V – Tabela de Transição – Bloco isolado no lote

TABELA DE TRANSIÇÃO - BLOCO ISOLADO NO LOTE																	
TO=30%						TO=40%						TO=50%					
PAVTO DE ANÁLISE	sDA Amb. 2E+2D+3	Ang. Obst.	% Céu Visível	GAB	IA	PAVTO DE ANÁLISE	sDA Amb. 2E+2D+3	Ang. Obst.	% Céu Visível	GAB	IA	PAVTO DE ANÁLISE	sDA Amb. 2E+2D+3	Ang. Obst.	% Céu Visível	GAB	IA
U (1°)						U (1°)						U (1°)					
P (2°)						P (2°)						P (2°)	50	28	35	22	11,0
3°						3°	50	34	33	22	8,8	3°	45	40	29	10	5,0
							44						44	40	29	11	5,5
4°						4°	45	43	29	15	6,0	4°	43	49	24	5	2,5
							44			16	6,4						
5°	50	44	30	6	2,4	5°	43	50	25	6	2,0	5°					
6°	45	44	26	21	6,3	6°						6°					
	44	50	22	22	6,6												
7°	43	54	24	8	2,4	7°						7°					
8° a 21°						8° a 21°						8° a 21°					
TO=60%						TO=70%						TO=80%					
PAVTO DE ANÁLISE	sDA Amb. 2E+2D+3	Ang. Obst.	% Céu Visível	GAB	IA	PAVTO DE ANÁLISE	sDA Amb. 2E+2D+3	Ang. Obst.	% Céu Visível	GAB	IA	PAVTO DE ANÁLISE	sDA Amb. 2E+2D+3	Ang. Obst.	% Céu Visível	GAB	IA
U (1°)						U (1°)	57	38	39	22	15,4	U (1°)	51	31	33	22	17,5
P (2°)	48	35	31	22	13,2	P (2°)	44	63	26	3	2,1	P (2°)	33	56	20	3	2,4
3°	42	48	24	4	2,4	3°						3°					
4° a 21°						4° a 21°						4° a 21°					

APÊNDICE Y – Tabela de Transição – M1 e M3

M1 (2+3) - TABELA DE TRANSIÇÃO																	
TO=30% a 39%						TO=40% a 49%						TO=50% a 59%					
PAVTO DE ANÁLISE	sDA Amb. 2E+2 D+3	Ang. Obst.	% Céu Visível	GAB	IA	PAVTO DE ANÁLISE	sDA Amb. 2E+2 D+3	Ang. Obst.	% Céu Visível	GAB	IA	PAVTO DE ANÁLISE	sDA Amb. 2E+2 D+3	Ang. Obst.	% Céu Visível	GAB	IA
U (1°)						U (1°)						U (1°)					
P (2°)						P (2°)						P (2°)	49	34	32	12	7
3°						3°	48	38	31	13	6	3°	45	40	29	8	4
													43	46	25	12	7
4°	48	42	29	18	7	4°	45	43	29	15	6	4°	43	49	24	6,8,10 12,14	3 a 7
							44	44	28	12	5						
5°	45	47	27	20	7	5°	44	50	26	10	4	5°					
	44	48	27	11	4												
6°	45	51	26	9	3	6°						6°					
	44	50	26	19	6												
7°	44	54	25	10	3	7°						7°					
8° a 21°						8° a 16°						8° a 13°					
TO=60% a 69%						TO=70% a 80%											
PAVTO DE ANÁLISE	sDA Amb. 2E+2 D+3	Ang. Obst.	% Céu Visível	GAB	IA	PAVTO DE ANÁLISE	sDA Amb. 2E+2 D+3	Ang. Obst.	% Céu Visível	GAB	IA						
U (1°)	62	19	40	9	6	U (1°)	55	31	33	5	4						
P (2°)	45	37	30	8	5	P (2°)	43	44	26	10	7						
	43	38	30	11	7												
3°	43	48	25	10 e 5	6 e 3	3°											
4° a 10°						4° a 9°											

M3 (2E+2D) - TABELA DE TRANSIÇÃO																	
TO=30% a 39%						TO=40% a 49%						TO=50% a 59%					
PAVTO DE ANÁLISE	sDA Amb. 2E+2 D+3	Ang. Obst.	% Céu Visível	GAB	IA	PAVTO DE ANÁLISE	sDA Amb. 2E+2 D+3	Ang. Obst.	% Céu Visível	GAB	IA	PAVTO DE ANÁLISE	sDA Amb. 2E+2 D+3	Ang. Obst.	% Céu Visível	GAB	IA
U (1°)						U (1°)						U (1°)					
P (2°)						P (2°)						P (2°)					
3°						3°						3°	49	40	25	12	7
4°	50	36	27	18	7	4°	46	40	24	13	6	4°	45	43	23	12 e 10	6 e 5
													44	43	23	14 e 10	7 e 5
5°	45	43	23	18	7	5°	45	47	21	11	5,0	5°	43	50	19	8	4
	43	43	23	18	7		44	46	22	16 e 9	7 e 4						
6°	43	48	21	18	7	6°	43	49	20	10	5	6°					
7° a 17°						7° a 16°						7° a 13°					
TO=60% a 69%						TO=70% a 79%											
PAVTO DE ANÁLISE	sDA Amb. 2E+2 D+3	Ang. Obst.	% Céu Visível	GAB	IA	PAVTO DE ANÁLISE	sDA Amb. 2E+2 D+3	Ang. Obst.	% Céu Visível	GAB	IA						
U (1°)						U (1°)	64	23	34	9	5						
P (2°)	50	34	28	9 e 6	6 e 4	P (2°)	45	42	22	4	3						
							43	46	21	9	7						
3°	45	41	24	10	6	3°	38	50	19	10	7						
	43	43	22	8	5												
4°	43	50	19	5	3	4°											
5° a 10°						5° a 9°											

APÊNDICE Z – Tabela de Correlação - M2

M2 - 4Fr+ 4Fu - TABELA DE CORRELAÇÃO																													
PAVTO ANALISE	TO=50% a 59%												PAVTO ANALISE	TO=60% a 69%															
	sDA Amb. 4Fr+ 4Fu	Ang. Obst.		% Céu Visível		Afast. Obstr.		GAB		IA		OSR		sDA Amb. 4Fr+ 4Fu	Ang. Obst.		% Céu Visível		Afast. Obstr.		GAB		IA		OSR				
U (1°)	100	70	4	5	48	47	32	26	2	14	7	1	0,5	0,1	U (1°)	74	69	5	7	47	47	24	18	3	11	7	2	0,2	0,1
P (2°)	71	64	9	11	44	43	32	26	4	14	7	2	0,3	0,1	P (2°)	71	62	12	15	43	41	24	18	3	11	7	2	0,2	0,1
A (3°)	71	58	14	18	41	39	32	26	4	14	7	2	0,3	0,1	A (3°)	70	50	19	24	39	36	24	18	5	11	7	3	0,2	0,1
4°	64	50	19	24	38	36	32	26	6	14	7	3	0,2	0,1	4°	62	50	25	31	35	32	24	18	5	11	7	3	0,1	0,1
5°	64	50	24	20	35	32	32	26	6	14	7	3	0,2	0,1	5°	57	48	30	37	31	28	24	18	6	11	7	4	0,1	0,1
6°	61	48	28	34	32	29	32	26	7	14	7	4	0,1	0,1	6°	56	43	35	43	28	25	24	18	8	11	7	5	0,1	0,1
7°	57	45	32	38	29	26	32	26	8	14	7	4	0,1	0,1	7°	52	39	40	48	25	22	24	18	8	11	7	5	0,1	0,1
8°	57	42	36	42	27	24	32	26	9	14	7	5	0,1	0,1	8°	50	36	44	51	23	19	24	18	9	11	7	6	0,1	0,1
9°	52	40	39	46	25	22	32	26	10	14	7	5	0,1	0,1	9°	43	36	47	51	21	19	24	21	10	11	7	6	0,1	0,1
10°	50	36	42	49	23	20	32	26	11	14	7	6	0,1	0,1	10°	36	33	54	54	17	17	21	21	11	11	7	7	0,1	0,1
11°	48	35	45	52	21	18	32	26	12	14	7	6	0,1	0,1															
12°	45	36	48	50	19	18	32	29	13	14	7	7	0,1	0,1															
13°	40	36	50	50	18	18	32	32	14	14	7	7	0,1	0,1															
PAVTO ANALISE	TO=70% a 80%																												
	sDA Amb. 4Fr+ 4Fu	Ang. Obst.		% Céu Visível		Afast. Obstr.		GAB		IA		OSR																	
U (1°)	71	57	8	23	46	37	15	5	10	5	7	3	0,1	0,0															
P (2°)	62	36	18	46	39	24	15	5	10	4	7	3	0,1	0,0															
A (3°)	57	29	28	59	34	17	15	5	10	4	7	3	0,1	0,0															
4°	52	21	36	66	29	13	15	5	10	5	7	4	0,1	0,0															
5°	49	21	43	63	25	14	15	7	10	7	7	5	0,1	0,0															
6°	43	19	48	67	22	12	15	7	10	7	7	5	0,1	0,0															
7°	40	14	53	70	19	10	15	7	10	8	7	6	0,0	0,0															
8°	36	14	56	72	17	9	15	7	10	9	7	7	0,0	0,0															
9°	29	29	60	60	15	15	15	15	10	10	7	7	0,0	0,0															

APÊNDICE CC - Tabela de Transição- M4

M4 (2E+2D+3) - TABELA DE TRANSIÇÃO																					
TO=30% a 39%							TO=40% a 49%						TO=50% a 59%								
PAVTO DE ANÁLISE	sDA Amb. 2E+2 D+3	Ang. Obst.	% Céu Visível	GAB	IA	OSR	PAVTO DE ANÁLISE	sDA Amb. 2E+2 D+3	Ang. Obst.	% Céu Visível	GAB	IA	OSR	PAVTO DE ANÁLISE	sDA Amb. 2E+2 D+3	Ang. Obst.	% Céu Visível	GAB	IA	OSR	
U (1°)							U (1°)							U (1°)							
P (2°)							P (2°)							P (2°)	50	31	34	12	7	0,1	
3°							3°							3°	46	40	29	13	7	0,1	
																43	43	27	12	7	0,1
4°							4°							4°	45	46	27	14	7	0,1	
								49	44	28	15	4	0,1			44	46	27	12	6	0,1
5°	49	46	27	18	7	0,1	5°	45	49	26	16	7	0,1	5°	48	50	25	8	4	0,1	
								43	50	25	13	6	0,1			43	52	24	12	6	0,1
6°	49	50	27	20	7	0,1	6°	46	52	25	12	5	0,1	6°	48	55	23	8	4	0,1	
	43	52	25	18	7	0,1		43	54	23	11	5	0,1			40	57	22	10	5	0,1
7°	45	55	25	13	5	0,1	7°	45	56	23	9	4	0,1	7°	36	62	20	10	5	0,1	
	44	54	24	20	7	0,1		43	58	23	12	5	0,1								
8°	43	58	23	13	5	0,1	8°	49	58	23	10	4	0,2	8°							
								43	60	20	12	5	0,1								
9° a 18°							9°	39	63	18	12	5	0,1	9°							
							10° a 15°							8° a 12°							
TO=60% a 69%							TO=70% a 69%														
PAVTO DE ANÁLISE	sDA Amb. 2E+2 D+3	Ang. Obst.	% Céu Visível 1	GAB	IA	OSR	PAVTO DE ANÁLISE	sDA Amb. 2E+2 D+3	Ang. Obst.	% Céu Visível	GAB	IA	OSR	PAVTO DE ANÁLISE	sDA Amb. 2E+2 D+3	Ang. Obst.	% Céu Visível	GAB	IA	OSR	
U (1°)							U (1°)	57	24	37	8	6	0,0								
P (2°)	45	37	30	9	6	0,1	P (2°)	45	44	26	4	3	0,1								
3°	45	44	27	10	6	0,1	3°	43	41	28	10	7	0,0	3°	36	55	20	7	5	0,1	
	43	48	24	6	4	0,1															
4°	39	53	22	10	6	0,1	4°							4°							
5° a 9°							5° a 8°							5° a 8°							