

**Adaptabilidade e Calibragem  
de Normativas Urbanísticas  
a partir de Parâmetros de Desempenho**

Vaneska Paiva Henrique  
autora

Prof. Dr. Benamy Turkienicz  
orientador

Porto Alegre, 2019



# Adaptabilidade e Calibragem de Normativas Urbanísticas a partir de Parâmetros de Desempenho

Vaneska Paiva Henrique  
autora

Prof. Dr. Benamy Turkienicz  
orientador

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura.



CIP - Catalogação na Publicação

Henrique, Vaneska Paiva  
Adaptabilidade e Calibragem de Normativas  
Urbanísticas a partir de Parâmetros de Desempenho /  
Vaneska Paiva Henrique. -- 2019.

246 f.

Orientador: Benamy Turkienicz.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura, Programa  
de Pós-Graduação em Arquitetura, Porto Alegre, BR-RS,  
2019.

1. normativas urbanísticas. 2. sistemas de apoio à  
decisão em arquitetura e urbanismo. 3. planejamento  
urbano. 4. modelos urbanos. 5. plano diretor. I.  
Turkienicz, Benamy, orient. II. Título.



À minha filha Lara,  
que me ensinou o amor incondicional.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Benamy Turkienicz, pelos ensinamentos dedicados ao longo dos anos de pesquisa e extensão, pelo incentivo na busca pelo conhecimento científico; pela amizade e pela oportunidade de aprendizado e crescimento acadêmico e profissional.

A toda minha família, em especial aos meus pais, Nara e Júlio Henrique pelo incentivo incondicional e por proporcionarem as oportunidades que me levaram ao caminho da pesquisa; e ao meu companheiro Daniel Vargas, parceiro de vida e de profissão, cuja visão crítica me desafia de forma constante.

Aos membros do Núcleo de Tecnologia Urbana da UFRGS, graduandos, pós-graduandos e professores, pela troca de experiências e conhecimento ao longo dos anos de atuação em Projetos de Extensão; e em especial à Camille Piazza, pelo auxílio e empenho no uso de ferramentas computacionais.

Aos meus colegas de trabalho na Prefeitura Municipal de Porto Alegre, especialmente à minha chefe Ada Raquel Doederlein Schwartz e a colega Tânia Regina Quintana Rodrigues cujo apoio foi fundamental para a conclusão desta dissertação.



## RESUMO

O planejamento territorial urbano contemporâneo abrange, tecnicamente, a compatibilização de variáveis funcionais e variáveis conceituais. No campo das variáveis funcionais, a correlação entre densidades urbanas e o desempenho das edificações apresenta-se como desafio na construção de normativas urbanísticas adequadas tanto sob o ponto de vista da otimização de recursos ambientais e econômicos quanto sob o ponto de vista da habitabilidade das edificações. A presente dissertação testa um modelo de densidades urbanas aplicado à Unidades de Estruturação Urbana presentes na estrutura de planejamento da cidade de Porto Alegre, Brasil. O modelo, *Space Mate* (BERGHAUSER PONT HAUPT, 2009) envolve métricas capazes de descrever a relação entre densidade e forma, fundamentais para mensurar atributos de habitabilidade das edificações e para aferir semelhanças e diferenças de desempenho quanto a aspectos ambientais e econômicos. O método proposto utiliza simulações realizadas no ambiente CityZoom (TURKIENICZ et al., 2006), envolvendo duas aplicações: uma descritiva, comparando o desempenho de diferentes ambientes urbanos; e outra exploratória, buscando otimizar a relação entre densidade urbana, forma e desempenho. Estudo de caso de conjunto de quadras de Porto Alegre simula diferentes normativas urbanísticas, compara o comportamento diferencial da morfologia destas quadras diante de variáveis como potencial construtivo, insolação e iluminância. Em suas conclusões, a autora sugere que a aplicação do Spacemate, em casos semelhantes ao de Porto Alegre, poderá contribuir para melhorar o desempenho de quarteirões urbanos em processo de transformação em áreas consolidadas do tecido urbano. Adicionalmente, a metodologia utilizada poderá contribuir para o desenvolvimento de estratégias de adaptação de normativas urbanísticas a serem utilizadas no licenciamento de projetos de arquitetura em áreas consolidadas de cidades.

**Palavras-chave:** normativas urbanísticas, sistemas de apoio à decisão em arquitetura e urbanismo, planejamento urbano, modelos urbanos.



## ABSTRACT

Contemporary urban planning technically encompasses the compatibilization of functional and conceptual variables. As for the functional variables, the correlation between urban density and building differential performances presents itself as a challenge during the development of adequate urban rules in search of the optimization of the natural environmental and economic resources as from the point of view of the building's indoor comfort. This dissertation tests the performance of a Local Plan set of Urban Rules (Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental) using a form-density model, The Spacemate (BERGHAUSER PONT HAUPT, 2009). The model is capable to describe the relation between density and form, which are important to measure the economical and environmental performances of buildings and the urban configuration. In order to measure environmental aspects such as natural light and shading the proposed method is associated to a software, CityZoom (TURKIENICZ et al., 2006) within two perspectives: a descriptive one, to compare similarities and differences of urban scenarios produced according to existing urban rules and an exploratory second one, aiming at the economical and environmental optimization of the correlation between urban form and urban density. A case study had been designed, using a set of urban blocks, as to simulate different urban rules and to compare the morphological differential behavior of these blocks in relation to floor space ratios, natural light and solar radiation accessibility. In its conclusions, the author suggests that Spacemate's methodology could help to improve Porto Alegre's urban blocks environmental quality, to optimize the existent urban infrastructure and contribute to the development of adaptive planning strategies related to urban rules and real estate planning permissions.

**Keywords:** urban regulations, decision support systems in architecture and urbanism, urban planning, urban models.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Valores de referência de economias por hectare. ....	41
Figura 2: Medidas de densidade em planejamento urbano. ....	42
Figura 3: Densidade em número de economias por hectare. ....	43
Figura 4: Densidade em habitantes por hectare. ....	43
Figura 5: Custo de infraestrutura x densidades. ....	44
Figura 6: Densidade Urbana vs Extensão da Malha Viária. ....	45
Figura 7: Custos relacionados ao saneamento e Densidade Urbana. ....	46
Figura 8: Coeficiente de Aproveitamento aplicado a módulo urbano. ....	47
Figura 9; Três formas de ocupação da mesma área com o mesmo número de unidades habitacionais (75 unidades / 1 hectare). ....	48
Figura 10: Escala de agregação propostas pelos autores. ....	52
Figura 11: Diagrama FSI (GSI) ou Spacemate. ....	57
Figura 12: Diferentes tipologias de igual densidade localizadas sobre o Diagrama FSI (GSI) ou Spacemate. ....	57
Figura 13: Descrição de tipologias propostas por Pont e Haupt. ....	58
Figura 14: Identificação de tipologias de acordo com a abordagem de Pont e Haup no Diagrama Spacemate. ....	59
Figura 15: Ambientes propostos para o Plano de Renovação Urbana ParkStad. ....	61
Figura 16: Ambientes urbanos selecionados em Parkstad (direita) e áreas que cumprem esses critérios delimitadas no Spacemate. ....	62
Figura 17: Revisão dos tipos propostos para o Plano de Renovação Urbana ParkStad. .	64
Figura 18: Mapas produzidos e localização no Diagrama Spacemate. ....	66
Figura 19: Três amostras representando diferentes modelos de ocupação do território e sua posição no Diagrama Spacemate. ....	67
Figura 20: Região em análise. ....	71

Figura 21: Características do território e correlação com o modelo de densidade Spacemate. ....	72
Figura 22: Mapas de densidade gerados através da sobreposição dos mapas de “oportunidade” com parâmetros do Spacemate.....	72
Figura 23: Projeto Alkmaar. ....	73
Figura 24: (a) estratégia 1; (b) estratégia 2; (c) estratégia 3; e (d) estratégia 4. ....	74
Figura 25: Proposta baseada em parâmetros de densidade aplicados ao território. ....	74
Figura 26: Escalas previstas no 2º PDDUA de Porto Alegre. ....	79
Figura 27: Diagrama da relação entre os objetos urbanos e as componentes do PDDUA. ....	80
Figura 28: Densidade prevista por Macrozona de acordo com o 2º PDDUA de Porto Alegre. ....	86
Figura 29: Intensidade de ocupação do solo de acordo com o 2º PDDUA de Porto Alegre. ....	89
Figura 30: Densidade populacional (moradores + empreg.) de acordo com o 2º PDDUA. ....	90
Figura 31: Índice de Aproveitamento por SUBUEU de acordo com o 2º PDDUA de Porto Alegre. ....	93
Figura 32: Índice de Aproveitamento Máximo por SUBUEU de acordo com o 2º PDDUA de Porto Alegre.....	94
Figura 33: Estoques construtivos por quarteirão em Porto Alegre, Listagem 011/2019. .	97
Figura 34: Estoques construtivos por UEU em Porto Alegre, Listagem 011/2019. ....	98
Figura 35: Estoques construtivos por MZ em Porto Alegre, Listagem 011/2019. ....	99
Figura 36: Densidade Urbana na estrutura do 2º PDDUA.....	101
Figura 37: Elementos morfológicos fundamentais das edificações. ....	104
Figura 38: SUBUEUs classificadas de acordo com a previsão de construções do tipo morfológico (1) edificação junto à divisa. ....	105

Figura 39: SUBUEUs classificadas de acordo com o tipo morfológico (3) base e torre.	106
Figura 40: SUBUEUs em que é possível a opção por qualquer dos modelos tipológicos previstos no PDDUA.	107
Figura 41: Escalas de agregação de objetos urbanos previstas no PDDUA.	111
Figura 42: Variação da forma resultante da aplicação das regras previstas no PDDUA em lotes com diferentes dimensões de testada.	112
Figura 43: Modelos tradicionais de áreas urbanas.	118
Figura 44: Modelos digitais rudimentares.	119
Figura 45: Modelos Tridimensionais com a representação de diferentes camadas sobrepostas.	120
Figura 46: Estrutura de objetos urbanos no CityZoom.	123
Figura 47: Representação de objetos tridimensionais no CityZoom.	124
Figura 48: Conceitos gerais da representação de objetos 3D no CityZoom.	125
Figura 49: Construção do modelo da cidade no CityZoom.	126
Figura 50: Simulação de acordo com normativas urbanísticas no CityZoom.	127
Figura 51: Análise de sombra no CityZoom.	129
Figura 52: Resultado da simulação de sombra em modelo simulado no CityZoom.	130
Figura 53: Modelo de iluminância no CityZoom.	132
Figura 54: Configuração de céu.	132
Figura 55: Simulação de iluminância no CityZoom.	133
Figura 56: Áreas por potencial de adensamento de acordo com o 2º PDDUA.	135
Figura 57: Bairros com maior número de empreendimentos em 2019 e venda de SC 2014-2019.	137
Figura 58: Bairros de acordo com valor de venda por m <sup>2</sup> .	138
Figura 59: Sobreposição de bairros no topo das três relações.	139
Figura 60: Densidade prevista por Macrozona em Porto Alegre.	143

Figura 61: Densidade prevista por UEU em Porto Alegre. ....	144
Figura 62: UEUs selecionadas para aplicação da metodologia proposta. ....	145
Figura 63: Potencial construtivo por UEU selecionada: áreas adensáveis. ....	146
Figura 64: Potencial construtivo por SUBUEU selecionada: áreas adensáveis. ....	147
Figura 65: Potencial construtivo por UEU selecionada: áreas adensáveis, áreas não adensáveis e áreas isentas. ....	148
Figura 66: Estoque SC/TPC por UEU selecionada.....	149
Figura 67: Estoque SC/TPC por QTR selecionado.....	149
Figura 68: Estoque SC/TPC por UEU selecionada: áreas adensáveis, áreas não adensáveis e áreas isentas. ....	150
Figura 69: Metros quadrados construídos por UEU selecionada. ....	151
Figura 70: Potencial construtivo atual por UEU selecionada.....	152
Figura 71: Potencial construtivo excedente estimado atual por QTR selecionado. ....	153
Figura 72: Elementos-chave para a estruturação do espaço urbano. ....	154
Figura 73: Escalas de agregação aplicadas na área de estudo selecionada. ....	156
Figura 74: Estrutura de cenários simulados.....	157
Figura 75: Sistematização de indicadores no Diagrama Spacemate.....	158
Figura 76: Diferentes tipologias (da esquerda para direita, 1-3) com potencial construtivo equivalente localizadas no Diagrama Spacemate.....	159
Figura 77: Delimitação de 9 (nove) tipologias básicas a partir do Diagrama Spacemate. ....	159
Figura 78; Dois modelos de quarteirão de perímetro fechado com variações na ocupação. ....	161
Figura 79: Identificação dos quarteirões selecionados. ....	162
Figura 80: Simulação dos quarteirões selecionados no ambiente CityZoom. ....	163
Figura 81: Indicadores aplicados na área de estudo para as escalas de agregação identificadas. ....	164

Figura 82: Localização dos quarteirões selecionados no Diagrama Spacemate. ....	164
Figura 83: Quarteirões selecionados. ....	165
Figura 84: Tecido e Quarteirões selecionados sobre a classificação tipológica proposta por van NES. ....	166
Figura 85: Figura e fundo com base na projeção das edificações na área de estudo. .	168
Figura 86: Padrões tipológicos definidos pelo 2º PDDUA de Porto Alegre. ....	168
Figura 87: Desempenho das regras do 2º PDDUA de acordo com a variação da testada em metros. ....	169
Figura 88: Quarteirões modelo de acordo com o desempenho das tipologias padrão.	170
Figura 89: Quarteirões modelo e classificação tipológica proposta por van NES (2012). .....	171
Figura 90: Quarteirões modelo e classificação tipológica. ....	172
Figura 91: Lotes com classificação tipológica proposta por van NES no Diagrama Spacemate. ....	173
Figura 92: Lotes com classificação tipológica proposta por van NES. ....	174
Figura 93: Lotes com classificação tipológica proposta por van NES em visualização 3D. .....	174
Figura 94: Classificação tipológica proposta para a área de estudo. ....	175
Figura 95: Tipologias identificadas no recorte selecionado e posição no Diagrama Spacemate. ....	176
Figura 96: Tipologias identificadas na área de estudo. ....	177
Figura 97: Tipologias identificadas na área de estudo. ....	177
Figura 98: Tipologias identificadas na área de estudo considerando apenas as edificações com baixo potencial de renovação. ....	178
Figura 99: Posição dos lotes com edificações com baixo potencial de renovação no Diagrama Spacemate. ....	178
Figura 100: Localização dos quarteirões selecionados no Diagrama Spacemate. ....	179

Figura 101: Quarteirões no Diagrama Spacemate classificados de acordo com o grau de consolidação. ....	180
Figura 102: Relação Tecido/Quadra, Quarteirão 33. ....	181
Figura 103: Relação Tecido/Quadra, Quarteirão 79. ....	181
Figura 104: Identificação dos lotes inseridos dentro do quarteirão 33. ....	182
Figura 105: Posição do QTR 33 e lotes relacionados no Diagrama Spacemate. ....	183
Figura 106: Identificação dos lotes inseridos dentro do quarteirão 79. ....	184
Figura 107: Posição do QTR 79 e lotes relacionados no Diagrama Spacemate. ....	184
Figura 108: Posição do QTR 33 e 79 e lotes relacionados no Diagrama Spacemate. .	185
Figura 109: Posição do QTR 33 e relação de proximidade de padrões por lote. ....	186
Figura 110: Posição do QTR 79 e relação de proximidade de padrões por lote. ....	186
Figura 111: Posição do QTR 33 e relação de proximidade de padrões por lote utilizando como linha de corte os indicadores derivados OSR e L referência do QTR. ....	187
Figura 112: Posição do QTR 79 e relação de proximidade de padrões por lote utilizando como linha de corte os indicadores derivados OSR e L referência do QTR. ....	188
Figura 113: Posição do QTR 33 e relação de proximidade dos lotes considerando: linha base OSR e L; e distância entre objetos. ....	188
Figura 114: Posição do QTR 79 e relação de proximidade dos lotes considerando: linha base OSR e L; e distância entre objetos. ....	189
Figura 115: Imóveis inventariados na área de estudo. ....	191
Figura 116: Lotes de acordo com o potencial de renovação: [a] em branco os lotes com alto potencial de renovação; e [b] em preto os lotes com baixo potencial de renovação. ....	192
Figura 117: Base simulada, onde: (a) em cinza escuro as edificações de interesse histórico; (b) em cinza claro as edificações com 50% ou mais do potencial construtivo executado; e (c) em branco os lotes selecionados para a simulação. ....	193
Figura 118: Cenário de acordo com as regras do 2º PDDUA sobre o parcelamento existente. ....	193

Figura 119: Cenário de acordo com as regras do 2º PDDUA com diferenciação de tipologias adotadas: [1] em azul claro a construção com o modelo nas divisas; [2] em azul escuro a edificação no modelo base e corpo. ....	194
Figura 120: Cenário de acordo com as regras do 2º PDDUA com diferenciação de tipologias adotadas: [1] em azul claro a construção com o modelo nas divisas; [2] em azul escuro a edificação no modelo base e corpo. ....	194
Figura 121: Potencial construtivo executado no Cenário B. ....	195
Figura 122: Cenário considerando o remembramento de lotes urbanos para a aplicação das regras do 2º PDDUA (Cenário C). ....	196
Figura 123: Cenário considerando o remembramento de lotes urbanos para a aplicação das regras do 2º PDDUA (Cenário C). ....	196
Figura 124: Potencial construtivo executado no Cenário B. ....	197
Figura 125: Indicadores aplicados na área de estudo nas escalas de agregação identificadas para o Cenário B. ....	198
Figura 126: Indicadores aplicados na área de estudo nas escalas de agregação identificadas para o Cenário C. ....	199
Figura 127: Comparação entre o Cenário Atual (A) e o Cenário Simulado PDDUA (B) no Diagrama Spacemate. ....	200
Figura 128: Comparação entre o Cenário Atual (A), o Cenário Simulado PDDUA (B) e o Cenário Simulado PDDUA © no Diagrama Spacemate. ....	200
Figura 129: Tecido e Quarteirões selecionados sobre a classificação tipológica proposta por van NES. ....	201
Figura 130: Quarteirões modelo com relação aos resultados alcançados na simulação do Cenário B. ....	202
Figura 131: Quarteirões modelo com relação aos resultados alcançados na simulação do Cenário C. ....	202
Figura 132: Figura e fundo para Cenário Atual (A), Cenário Simulado PDDUA (B) e o Cenário Simulado PDDUA (C). ....	203

Figura 133: Posição relativa do QTR 31 no Diagrama Spacemate. ....	204
Figura 134: Lotes no Diagrama Spacemate. ....	205
Figura 135: Comparativo entre os quarteirões com maior e menor grau de transformação Cenário B. ....	206
Figura 136: Comparativo entre os quarteirões com maior e menor grau de transformação Cenário C. ....	207
Figura 137: Comparativo da transformação de quarteirões a partir do Diagrama Spacemate. ....	207
Figura 138: Comparativo da transformação do quarteirão 31. ....	208
Figura 139: Corte esquemático demonstrando o perfil máximo edificável no quarteirão da paisagem construída resultante. ....	211
Figura 140: Processo de construção do Cenário Alternativo (D). ....	213
Figura 141: Cenário Alternativo (D). ....	214
Figura 142: Potencial construtivo por Cenário (m <sup>2</sup> ). ....	214
Figura 143: Envelope e Relação Base e Corpo da Edificação. ....	215
Figura 144: Localização dos quarteirões selecionados no Diagrama Spacemate para os 4 (quatro) Cenários. ....	216
Figura 145: Quarteirões no Diagrama Spacemate e tipologias relacionadas. ....	216
Figura 146: Localização do quarteirão 31 no Diagrama Spacemate para os 4 (quatro) Cenários. ....	217
Figura 147: Lotes no Diagrama Spacemate. ....	219
Figura 148: Distância relativa entre os quarteirões simulados no Cenário B e a origem no Cenário A. ....	221
Figura 149: Distância relativa entre os quarteirões simulados no Cenário D e a origem no Cenário A. ....	221
Figura 150: Quarteirões com maior transformação na proposta. ....	222
Figura 151: Potencial construtivo para cada um dos cenários. ....	224

Figura 152: Gráfico comparativo do potencial construtivo por quarteirão para cada cenário. ....	226
Figura 153: Lotes selecionados para análise de desempenho comparativa entre cenários. ....	229
Figura 154: Análise de Desempenho Ambiental dos Cenários para o QTR 31   Insolação   Solstício de Inverno (21/06/2019). ....	230
Figura 155: Superfície com menos de 2h de Sol no Solstício de Inverno para o QTR 31. ....	230
Figura 156: Análise de Desempenho Ambiental dos Cenários para o Eixo Selecionado   Insolação   Solstício de Inverno (21/06/2019). ....	231
Figura 157: Superfície com menos de 2h de Sol no Solstício de Inverno para o Eixo Selecionado. ....	231
Figura 158: Análise de Iluminância   Cenário A. ....	232
Figura 159: Análise de Iluminância   Cenário B. ....	233
Figura 160: Análise de Iluminância   Cenário C. ....	233
Figura 161: Análise de Iluminância   Cenário D. ....	234
Figura 162: Percentual de fachada de acordo com intervalo de iluminância para o quarteirão 31. ....	234
Figura 163: Percentual de fachada de acordo com intervalo de iluminância para o Eixo selecionado. ....	234



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Possibilidades para a delimitação de áreas de estudo. ....	50
Tabela 2: Medidas propostas. ....	55
Tabela 3: Indicadores propostos.....	56
Tabela 4: Componentes do 2º PDDUA e relação com o tema densidade. ....	82
Tabela 5: Macrozonas delimitadas no 2º PDDUA de Porto Alegre.....	84
Tabela 6: Escalas de agregação e parâmetros de controle da densidade no PDDUA. .	110
Tabela 7: Categorias de modelos de representação urbana. ....	118
Tabela 8: Quadro comparativo de ferramentas digitais para construção de cenários urbanos. ....	122
Tabela 9: Densidade e Nível de Desenvolvimento dos Bairros selecionados. ....	140
Tabela 10: Agrupamento de Bairros de acordo com os critérios selecionados. ....	141
Tabela 11: Classificação de acordo com .....	167
Tabela 12: Condicionantes top-down considerados na construção do Cenário Alternativo (D).....	212
Tabela 13: Potencial construtivo por quarteirão simulado.....	225
Tabela 14: Datas de referência utilizadas para a análise de insolação.....	228



## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO _____	29
1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA _____	39
1.1. Densidade e Planejamento Urbano _____	40
1.2. Densidade e Forma Urbana _____	49
1.3. Densidade no 2º PDDUA de Porto Alegre _____	76
2. MATERIAIS E MÉTODOS _____	115
2.1. Simulação de Cenários Urbanos _____	116
2.2. Seleção de Área para Estudo de Caso _____	134
3. ESTUDO DE CASO: CENÁRIOS _____	157
3.1. Cenário Atual (A) _____	158
3.2. Cenário Simulado 2º PDDUA (B e C) _____	190
3.3. Cenário Simulado Alternativo (D) _____	209
4. RESULTADOS _____	223
4.1. Potencial Construtivo _____	224
4.2. Desempenho Ambiental _____	227
CONSIDERAÇÕES FINAIS _____	237
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	241



## INTRODUÇÃO

O planejamento territorial urbano contemporâneo abrange, tecnicamente, duas escalas: uma “local”, das edificações e vizinhança imediata e outra “transversal”, a escala da cidade ou da região. Variáveis locais têm um caráter “funcional” e atuam diretamente, pelo menos, sobre três dimensões dos sistemas territoriais urbanos: (1) densidade populacional, na compatibilização da ocupação urbana com estratégias de oferta/previsão de infraestruturas e serviços urbanos; (2) uso do solo, na associação entre atividades e estratégias de ocupação dos espaços urbanos e (3) desempenho das edificações, principalmente, quanto à habitabilidade: insolação, iluminância, ventilação e ruído. Variáveis transversais têm caráter “conceitual” e atuam, geralmente, sobre quatro dimensões: (1) cultural, voltada para a percepção sobre o espaço edificado; (2) social, relacionada à dinâmica de utilização do espaço urbano, à vitalidade urbana e às interações entre agentes sociais no espaço; (3) econômica, referente à lógica das atividades e práticas econômicas no território; e (4) ambiental, visando a preservação e conservação de recursos naturais através de estratégias de ocupação do território.

O encontro entre os dois tipos de variáveis enfrentou e enfrenta dificuldades de compatibilização em que, nem sempre, a implementação das três variáveis locais é consistente com objetivos pertencentes as quatro dimensões transversais do espaço urbano: diferentes formas urbanas, capazes de atender de maneira semelhante variáveis locais, podem ter comportamento diferente perante variáveis transversais. A solução dada por diversas cidades para este dissenso foi separar os dois grupos de variáveis, dando-lhes arriscada autonomia. De um lado, foram criadas regras de conformidade, procurando alcançar coerência local; de outro lado, foram geradas narrativas vinculantes, em que objetivos culturais,

sociais, econômicos e ambientais estariam necessariamente atrelados a formas e usos do solo urbanos resultantes das regras de conformidade. Um dos exemplos desta autonomia é o tratamento dado as densidades urbanas: estudos demonstram que, para a mesma densidade, diferentes formas e usos urbanos podem apresentar diferentes comportamentos, mesmo vinculados a narrativas semelhantes.

Densidades urbanas vêm servindo até hoje como parâmetro para a previsão de infraestruturas, dimensionamento de equipamentos e limites construtivos. Enquanto predominaram, até recentemente, as variáveis de caráter funcional serviram de base para modelos, quase sempre “fechados”, de cidade nos quais os limites construtivos e densidades de ocupação possuem, como referência, o horizonte de cidades “completas” onde a compatibilidade plena (no tempo e no espaço) entre infraestrutura, densidade (demográfica e construtiva) e uso do solo é prevista. Se os limites construtivos e regras de ocupação previstos para todos os lotes urbanos fossem alcançados, a cidade teria abrigado sua projeção populacional, seus edifícios teriam sido construídos com adequadas relações ambientais de vizinhança e as infraestruturas respondido positivamente à complexidade e à intensidade de uso do solo. Densidades seriam compatíveis com a adequada insolação, ventilação e iluminação natural das edificações. As quatro dimensões conceituais estariam plenamente preenchidas através das três dimensões funcionais.

Previsões de adensamento, ou seja, a antecipação das áreas que cresceriam com maior rapidez ou intensidade, seria possível graças a sistemas de monitoramento alimentados por dados originados em pesquisas levadas a efeito periodicamente nas diferentes áreas urbanas. Enquanto tal monitoramento dependeu de recursos oferecidos pela aerofotogrametria, o tempo necessário para as restituições gráficas permaneceu defasado em relação à velocidade das transformações. Custo e tempo de produção da informação funcionaram como barreiras para o controle das transformações urbanas. As dificuldades para a

implementação de sistemas de controle e de monitoramento destas transformações e, principalmente, as dificuldades para produzir dados e informações sobre as diferenças de desenvolvimento entre setores urbanos fez com que as cidades enfrentassem problemas para a adaptação das regras de controle urbanístico, tendo em vista a dinâmica de produção do espaço urbano: a cidade idealizada foi sistematicamente tensionada pela inconsistência entre conceitos, estratégias, regramentos, infraestruturas instaladas e velocidade de crescimento<sup>1</sup>.

O desvinculamento das variáveis locais das variáveis transversais teve como uma das suas principais consequências a falta de consistência da correlação entre densidades e infraestruturas/serviços públicos: a contínua oferta de solo urbano infraestruturado sem que a esperada ocupação dos loteamentos existentes tenha sido atingida produziu vias e lotes urbanos ociosos, tornando progressivamente mais onerosos os serviços e o acesso a equipamentos públicos e locais de trabalho. A falta de monitoramento das transformações urbanas evitou que tais inconsistências aflorassem, o que tornou a produção incontrolada de solo urbano um componente indesejável do desenvolvimento econômico.

Apesar do acesso crescentemente fácil às tecnologias de informação, sistemas de monitoramento do crescimento urbano continuam, hoje em dia no Brasil, a enfrentar dificuldades na obtenção e atualização dos dados de caráter funcional bem como na transformação destes dados em informações relevantes para tomadas de decisão estratégicas. Planos Diretores Urbanos, com horizontes de tempo (ou prazos de validade) relativamente longos, enfrentam dificuldades para absorver oportunidades

---

<sup>1</sup> O 2º PDDUA de Porto Alegre, tem sido alvo de críticas em função de inconsistências verificadas na aplicação dos dispositivos de controle de variáveis funcionais. Se por um lado a ausência de dispositivos capazes de controlar variáveis conceituais resultou na baixa qualidade dos espaços de uso coletivo, como por exemplo falta de harmonia e de continuidade espacial; por outro, o foco no controle das variáveis funcionais não foi capaz de garantir parâmetros mínimos de habitabilidade e tampouco garantir densidades adequadas, capazes de otimizar a distribuição de equipamentos e serviços urbanos (TURKIENICZ, et al., 1994).

de transformação do tecido urbano recomendáveis sob o ponto de vista conceitual e estratégico, mas, potencialmente, produtoras de conflito no âmbito das regras de conformidade aplicadas a cada lote. A clivagem entre as dimensões de caráter funcional e as dimensões de caráter conceitual fica evidente. Ou seja, à medida que se desenvolveram, as cidades viram crescer a distância entre objetivos gerais de planejamento e os resultados deste desenvolvimento.

Novas tecnologias para captura e conversão/interpretação de dados em informação sobre a estrutura urbana como os Sistemas de Informação Geográficas, tiveram como resultado a radical transformação das estratégias de promoção e de controle do desenvolvimento urbano. Modelos de planejamento com tempo de avaliação prolongado – dependentes da coleta e processamento lento de um grande volume de dados cederam lugar a uma nova lógica de aferição do desenvolvimento da cidade. Modelos de planejamento que envolviam prazos largos para revelar e atuar sobre diferenças de estado entre setores urbanos, foram substituídos por abordagens apoiadas por tecnologias da informação. A aplicação destas tecnologias passou a permitir a rápida avaliação do crescimento urbano, a apoiar projetos de transformações modulares da cidade e a flexibilizar horizontes antes prefixados por regras de conformidade. Esta abordagem passou a oferecer avaliações de estado específicas e ajustadas para cada área urbana, baseadas em sintomas e oportunidades que emergissem ao longo de períodos curtos de tempo. Desafios trazidos, por exemplo, pela mobilidade urbana e promoção econômica vêm estimulando a aproximação entre variáveis locais e transversais: qualidades estéticas do tecido urbano como ambiência urbana, centralidade e oferta de espaços diversificados vem sendo consideradas como suporte fundamental para a revitalização de áreas degradadas e fator de consolidação de clusters de inovação científica, cultural e tecnológica. Conceitos de sustentabilidade e resiliência presentes na definição de 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

em 2015<sup>2</sup> e na proposição de uma Nova Agenda Urbana (2016)<sup>3</sup> passaram a ratificar experiências de associação entre variáveis funcionais e conceituais como processos de revitalização e reconversão urbanas<sup>4</sup>. Diante desta evolução, as baixas densidades demográficas, antes pensadas como intrinsecamente positivas, passaram a ser vinculadas ao desperdício de infraestrutura e constituir fatores de oneração dos serviços urbanos. Por outro lado, modelos de desempenho apoiaram a criação de formas edificadas densas, harmonicamente relacionadas a paisagem urbana e a habitabilidade dos espaços privados.

Para aproximar dimensões funcionais das dimensões conceituais e vincular a oferta de infraestruturas, serviços e equipamentos das densidades urbanas, as cidades vêm transformando suas estruturas de governança e planejamento. O investimento crescente na formatação de plataformas digitais e na estruturação de bancos de dados robustos, busca alcançar inteligência capaz de auxiliar o trabalho de planejadores: o

---

<sup>2</sup> Erradicação da pobreza; Fome Zero e Agricultura Sustentável; Boa saúde e Bem-estar; Educação de Qualidade; Igualdade de Gênero; Água Potável e Saneamento; Energia acessível e limpa; Trabalho decente e Crescimento econômico; Indústria, Inovação e Infraestrutura; Redução das desigualdades; Cidades e Comunidades Sustentáveis; Consumo e Produção Responsáveis; Ação contra a mudança global do clima; Vida na água; Vida terrestre; Paz, Justiça e Instituições eficazes; Parcerias e Meios de Implementação (NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL, 2015).

<sup>3</sup> Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, da Organização das Nações Unidas-ONU.

<sup>4</sup> O 2º PDDUA de Porto Alegre, de acordo com o Art. 81 da Lei 434/1999, estabelece conceitualmente Áreas de Revitalização dentro dos limites municipais: setores urbanos que, pelo seu significativo Patrimônio Ambiental ou pela sua relevância para a cidade, devam ter tratamento diferenciado a fim de valorizar suas peculiaridades, características e inter-relações (PORTO ALEGRE, 1999). Em seu Art. 83, o mesmo documento identifica 6 (seis) áreas com este perfil na cidade: (i) o Centro Histórico; (ii) as Ilhas do Delta do Jacuí; (iii) a Orla do Guaíba; (iv) a região do entorno da Av. Praia de Belas; (v) o 4º Distrito; e (vi) o Cais do Porto. O 4º Distrito, citado na lista, foi objeto de plano específico elaborado por consultoria do Núcleo de Tecnologia Urbana da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (NTU | UFRGS) no ano de 2016, sob demanda da Secretaria Municipal do Urbanismo (Disponível online em: <http://www.4distrito.portoalegre.rs.gov.br>).

planejamento urbano apoiado por ferramentas de Big Data<sup>5</sup> passa a estar vinculado a tomada de decisão baseada em evidências (SCHMITT, et al., 2016). Modelos de planejamento, baseados em regras de conformidade, passaram a ser, gradativamente, substituídos por modelos baseados em regras de desempenho. Às novas construções não cabe apenas se adequarem às regras de conformidade, mas assumir papel ativo na execução de estratégias de desenvolvimento urbano (RIVOLIN, 2008).

### **Porto Alegre no processo de transformação dos modelos de planejamento urbano**

O sistema de planejamento urbano de Porto Alegre atravessou processos de planejamento urbano semelhantes aos de cidades de mesmo porte no mundo até o final do século passado. A partir da virada do século XX, Porto Alegre não mais acompanha as tendências mundiais de planejamento urbano. Embora possua, comparativamente aos municípios brasileiros, longa tradição de vanguarda no planejamento urbano, hoje o cenário é outro. O modelo atual de planejamento age quase exclusivamente sobre o espaço privado através do seu Plano Regulador. O Modelo Espacial, proposto no 2º Plano de Desenvolvimento Urbano Ambiental (PORTO ALEGRE, 1999) como descrição físico-territorial do controle das densidades urbanas, apresenta claras incompatibilidades com a abordagem conceitual e estratégica do Plano. Propostas previstas como a implementação de um sistema de espaços abertos referenciais, articulados, de abrangência local/urbana/regional, fortalecendo as centralidades e a valorização do patrimônio ambiental, não encontram suporte nas regras previstas para a ocupação do território. Alturas, taxas de ocupação e índices de aproveitamento máximos se distribuem de forma

---

<sup>5</sup> O termo Big Data se refere à análise e interpretação de grandes volumes de dados. No caso do planejamento urbano, nos referimos aqui aos dados referentes às cidades que possuem, invariavelmente, atributos de espaço e tempo (BATTY, 2013).

homogênea no território, sem alinhamento claro com os elementos conceituais.

Parte da incompatibilidade entre os conceitos e as regras do Plano deve-se a ausência de escalas intermediárias ou de transição entre a cidade vista como unidade e o lote visto como instrumentador exclusivo destes conceitos: as estratégias estabelecidas na macroescala, ou na escala da cidade não conseguem impactar o espaço público, concentrando-se na escala do lote privado. A ausência de escalas intermediárias entre a cidade e o lote individual, trouxe consequências: a falta de detalhamento ou explicitação espacial dos conceitos presentes na narrativa dos objetivos do Plano fez com que: (a) não fossem garantidas, por exemplo, a continuidade do espaço edificado na interface dos quarteirões com as vias públicas; e (b) as regras para ocupação dos lotes fossem ineficazes para a otimização das condições de conforto ambiental no interior dos quarteirões. O regramento das variáveis funcionais aplicadas aos lotes privados foi aplicado sem que fosse associado a escalas de agregação como o quarteirão e ao espaço de circulação pública, ruas, praças e avenidas.

Novas abordagens para a compatibilização de variáveis funcionais entre diferentes escalas de agregação foram propostas nos últimos anos. Em "Space, Density and Urban Form" (BERGHAUSER PONT E HAUPT, 2009), os autores propõem um método que permite correlacionar densidades com a forma urbana em diferentes escalas de agregação (lote, quadra, vizinhança, bairro e cidade) e avaliar a qualidade ambiental das escalas analisadas. Aspectos relacionados à qualidade do espaço urbano - capacidade do sistema viário, demanda de estacionamento, iluminância e disponibilidade de espaços abertos - são vinculados, pelos autores, com as tipologias analisadas, demonstrando o potencial da correlação entre forma urbana e performance.

Se por um lado a ausência de dispositivos capazes de controlar a qualidade dos espaços de uso coletivo e do quarteirão potencializou a falta de harmonia entre edifícios e espaços públicos, por outro, o foco no lote fez com que controles sobre densidades capazes de otimizar a distribuição de equipamentos e serviços urbanos (TURKIENICZ, et al., 1994) fossem praticamente abandonados. A desagregação do território desarticulada de instrumentos e dispositivos adequados para o controle das densidades e qualidades do espaço urbano, decretou imprevisibilidade em relação ao resultado físico/espacial do plano na cidade. Se a incompatibilidade do Modelo Espacial com as regras previstas no Plano de 1999 já era apontada como um problema, a supressão do Modelo, retirado dos anexos na Revisão do Plano em 2010, agrava a situação. Porto Alegre perdeu o controle sobre a implementação das suas estratégias e, conseqüentemente, desvinculou seus regramentos urbanísticos de qualquer estratégia ou conceito específico de ocupação do território.

A inadequação do modelo atual de planejamento urbano para enfrentar as demandas funcionais e estratégicas da cidade de Porto Alegre sugere sua revisão na direção de uma aproximação entre conceitos e estratégias e variáveis funcionais. A presente dissertação testa o modelo de densidade aplicado às Unidades de Estruturação Urbana do modelo de planejamento de Porto Alegre, à luz de novos paradigmas de planejamento envolvendo métricas capazes de descrever a relação entre **densidade e forma**. Os objetivos específicos desta dissertação incluem: (a) a discussão do modelo de planejamento estabelecido pelo PDDUA de Porto Alegre; (b) a possível aproximação entre as regras que definem as formas das edificações e a distribuição de diferentes densidades construtivas no território; e (c) oferecer possíveis alternativas para a gestão da densidade construtiva dentro dos limites do território municipal. Como base para o teste é utilizado o modelo proposto por Berghauer Pont e Haupt (2009) em "Space, Density and Urban Form". Um estudo de caso, constituído por um conjunto de quadras selecionadas na cidade de Porto

Alegre, permitirá a comparação entre regras de conformidade com regras de desempenho em diferentes atributos: potencial construtivo, insolação e iluminância.

A dissertação está estruturada em 4 (quatro) partes. A primeira, Fundamentação Teórica, trata do conceito de densidade e sua relação com o planejamento urbano e a forma das cidades, inclusive no Plano Diretor de Porto Alegre. Na segunda parte, Materiais e Métodos, são apresentados os modelos para a simulação de cenários e os critérios utilizados para seleção de área para estudo de caso em Porto Alegre. Na terceira parte, Estudo de Caso/Cenários, a metodologia para associação de densidade e forma é aplicada para a área selecionada em Porto Alegre através da modelagem de 3 (três) cenários. Na quarta parte, Resultados, são confrontados os resultados alcançados em cada cenário e propõem-se metodologia para um novo modelo de planejamento baseado em performance. Finalmente, em Conclusões, apresentam-se as vantagens na aplicação do modelo e as possibilidades de aprofundamento do tema.



# 1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Capítulo de Fundamentação Teórica trata sobre a o tema densidade urbana enquanto conceito vinculado às estratégias de planejamento urbano e sua relação com a forma urbana. Adicionalmente, caracteriza-se a inadequação do modelo atual de planejamento urbano de Porto Alegre para enfrentar as demandas funcionais e estratégicas da cidade, especialmente nas relações entre forma e densidade. Para este fim, o presente capítulo está estruturado da seguinte forma:

## 1.1.

### Densidade e Planejamento Urbano

- Apresentação das diferentes métricas utilizadas para mensuração da densidade e sua relação com as estratégias de planejamento urbano.

## 1.2.

### Densidade e Forma Urbana

- Vinculação da densidade com a forma urbana e apresentação do modelo Spacemate.

## 1.3.

### Densidade no 2º PDDUA de Porto Alegre

- Caracterização dos mecanismos de controle da densidade urbana previstas no 2º PDDUA de Porto Alegre, suas limitações e conflitos entre as regras e as estratégias previstas no Plano.

## 1.1. Densidade e Planejamento Urbano

O conceito de densidade em urbanismo é comumente utilizado na descrição da relação entre superfície de solo e entidades (habitantes, trabalhadores, equipamentos, valores de área construída, entre outros). Embora o uso de métricas de densidade associadas ao planejamento urbano seja consenso, o conceito de densidade correlacionado a qualidade dos espaços urbanos tem variado ao longo do tempo.

Até a segunda metade do século XIX, as altas densidades nas cidades industriais eram consideradas diretamente responsáveis pela proliferação de doenças, conflitos sociais e inclusive fator de causa de incêndios em áreas urbanas. Como resultado, o planejamento passou a prescrever parâmetros máximos de densidade (BERGHAUSER PONT, et al., 2010). Em *Town Planning in Practice* (URWIN, 1909), o autor argumenta que limitar o número de economias por hectare é o modo mais simples de evitar a superlotação de edificações e pessoas e propõe a medida ideal de 17 economias por hectare.

Na década de 60, a dispersão urbana e a prática de baixas densidades foram associadas ao impacto negativo na vitalidade urbana, na viabilidade econômica do transporte público e na preservação ambiental. Cidades compactas e, portanto, mais densas, foram consideradas por muitos como formas mais adequadas de aduzir eficiência e qualidade aos ambientes urbanos. Jacobs (1961) apresenta crítica às baixas densidades e sugere o parâmetro de 250 economias por hectare como condição necessária para a garantia da vitalidade urbana.

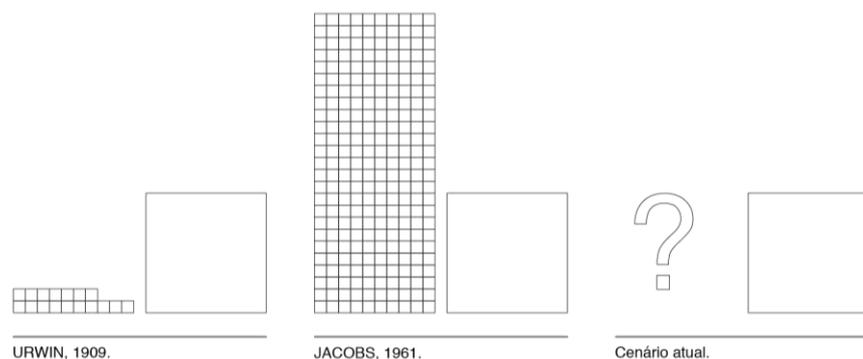
Atualmente, altas densidades e o modelo de cidades compactas são comumente vistos como pré-requisito para a urbanização sustentável, garantindo equilíbrio entre o desenvolvimento ambiental, social e econômico (HAUGHTON e HUNTER, 1994). Valores referência de densidade passaram a ser utilizados para projetar o equilíbrio entre a

oferta de infraestrutura e serviços urbanos da população a ser atendida e garantir a vitalidade econômica local. A compactação da cidade, encurtando distâncias, é vista como fator positivo sobre a circulação de pedestres e sobre a viabilidade de implantação de transporte coletivo (ROGERS, 2001). Na mesma linha, GEHL (2014) argumenta que baixas densidades e cidades dispersas são insustentáveis por sua dependência do veículo individual.

Entre os autores que defendem o adensamento de áreas urbanas não existe consenso quanto ao parâmetro para este adensamento. Algumas referências são os parâmetros de adensamento populacional propostos pela ONU de 450 hab./ha, pela Associação Americana de Saúde Pública 680 hab./ha e por Mascaró (1986) com a densidade bruta de 450 a 540 hab./ha.

Figura 1:  
Valores de referência de economias por hectare.

Fonte:  
Elaborada pela autora.



Como ferramenta de planejamento urbano, 3 (três) dimensões são comumente utilizadas no cômputo da densidade: (a) economias; (b) pessoas; e (c) área construída. Cada uma das três dimensões representa a densidade urbana sob uma perspectiva: enquanto o número de economias e a área construída costumam estar associadas à viabilidade econômica de empreendimentos e a valorização do solo urbano, o número de pessoas costuma ser o foco de agências governamentais no dimensionamento de serviços e infraestruturas urbanas.

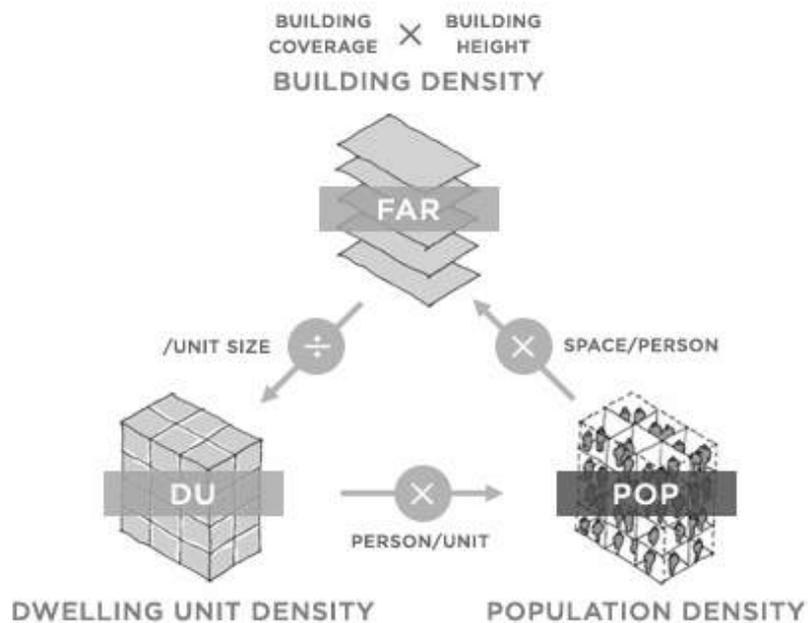


Figura 2:  
Medidas de  
densidade em  
planejamento  
urbano.

Fonte: Density  
Atlas, MIT.

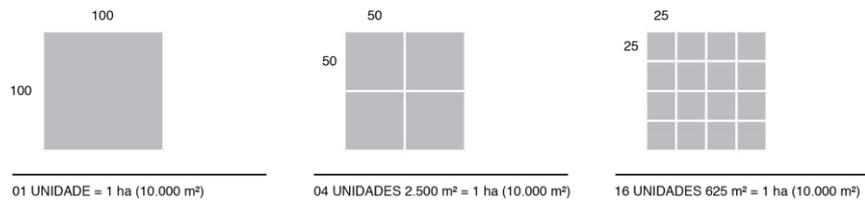
## Economias

A relação de economias por hectare é uma métrica comum no planejamento urbano, conforme evidenciado pelos valores ideais propostos por Unwin (1909) e Jacobs (1961). Geralmente, a relação econ./ha é de interesse de investidores cujo foco é o número comercializável de unidades em uma determinada área.

Limitações à aplicação da métrica referida no planejamento urbano envolvem duas questões principais:

- a não previsão do tamanho das unidades inviabilizando sua associação ao impacto da ocupação na infraestrutura e serviços locais;
- a dificuldade em acompanhar a dinâmica da realidade econômica local em que o tamanho das unidades pode ser associado a características sociais e econômicas da população.

Figura 3:  
Densidade em  
número de  
economias por  
hectare.

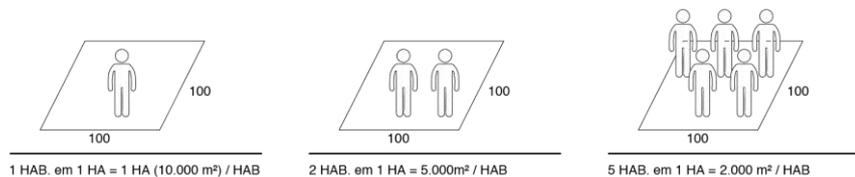


Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

## População

Métricas relacionadas ao dimensionamento da população local são comumente associadas à disponibilidade de equipamentos, infraestrutura e serviços urbanos (ACIOLY, 1998). Considerada medida de importância no planejamento urbano, sua regulamentação compete com a imprevisibilidade do número de ocupantes de um mesmo módulo/área habitacional. Variações no perfil socioeconômico da população impactam diretamente na maneira como a população se distribui no território. Tais variações acabam por criar diferentes referências para a determinação do que poderia ser considerado como densidade recomendável.

Figura 4:  
Densidade em  
habitantes por  
hectare.



Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

O conceito de densidade medida em habitantes por hectare recomendável vem sendo abordado de diferentes formas por arquitetos e urbanistas ao longo do tempo. Em 1932, Frank Lloyd Wright propõe uma cidade com densidade de 10 hab/ha em seu projeto *Broadacre City*. No

mesmo ano, Le Corbusier propõe o Plan Voisin com densidade prevista de 3.000 hab./ha.

Em período mais recente, estudos realizados pelo Banco do Trabalhador da Venezuela demonstraram que os custos da infraestrutura urbana em função da densidade se comportam como uma parábola. No caso de Caracas, o ponto ótimo ficaria em torno dos 1.000 hab./ha (Ferrari, 1979, p.350).

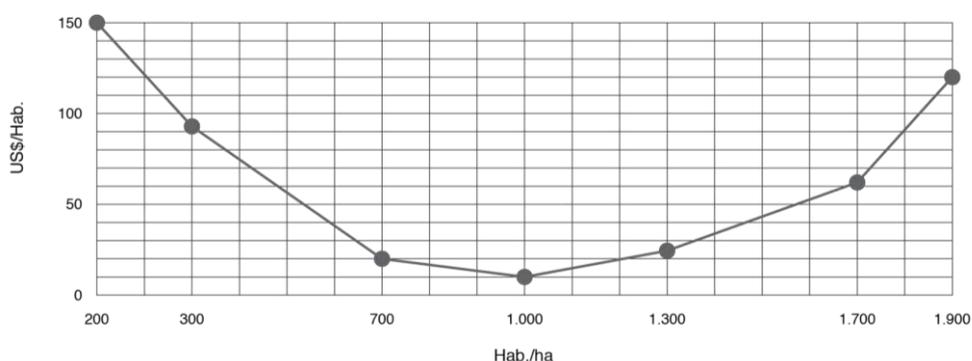


Figura 5:  
Custo de  
infraestrutura x  
densidades.

Adaptado de  
Ferrari, 1979,  
p.350.

Mascaró (1986) contrapõe medidas de densidade com relação a três aspectos econômicos na gestão urbana:

- Custos da infraestrutura urbana (saneamento, energia elétrica, pavimentação);
- Custos do edifício (construção, terreno e capital);
- Custos da energia gasta para manutenção (iluminação, elevadores, refrigeração).

Através das relações estabelecidas, o autor propõe uma faixa de densidade ideal bruta de 450 a 540 hab./ha.

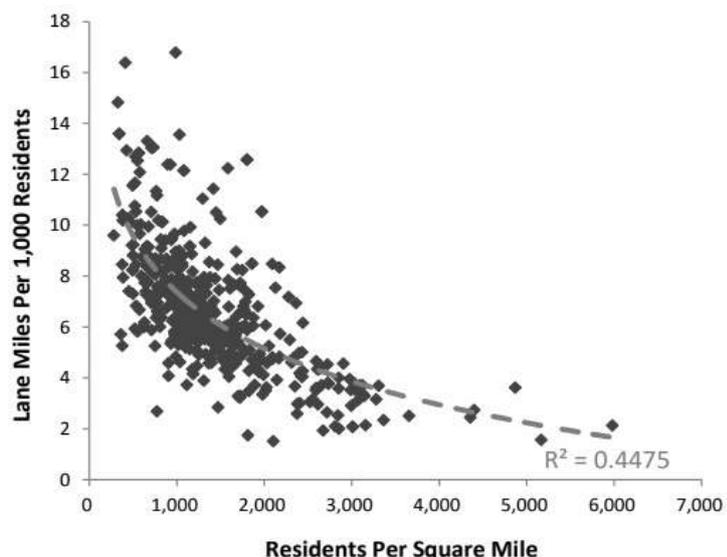
Altas densidades vêm sendo defendidas por pesquisadores da área. Houghton & Hunter (1994) associam altas densidades ao desenvolvimento urbano sustentável, defendendo que:

- A concentração da população no território maximiza o uso da infraestrutura instalada, diminuindo o custo relativo de sua implantação e a necessidade de expansão em direção a áreas periféricas;
- Altas densidades reduzem a necessidade de viagens uma vez que a concentração populacional favorece atividades econômicas como comércio e serviço a nível local;
- Por fim, encorajam a mobilidade peatonal e ciclovária, além de viabilizar soluções para o transporte coletivo.

Estudos mais recentes demonstram que a correlação entre altas densidades e redução nos custos de infraestrutura se mantém atual. Na Figura abaixo, à medida que a densidade urbana aumenta, a extensão da malha viária associada diminui. Desta forma, o custo per capita de construção e manutenção de vias, bem como o impacto associado a extensão da malha viária, reduzem significativamente em cenários de alta densidade em cidades norte americanas (LITMAN, 2019).

Figura 6:  
Densidade  
Urbana vs  
Extensão da  
Malha Viária.

Fonte: U.S.  
Department of  
Transportation  
2012.



Duren e Compeán (2015), em estudo realizado com 8.600 municípios no Brasil, Chile, Equador e México, relacionam a densidade urbana com o custo de serviços de saneamento, apresentado na Figura abaixo.

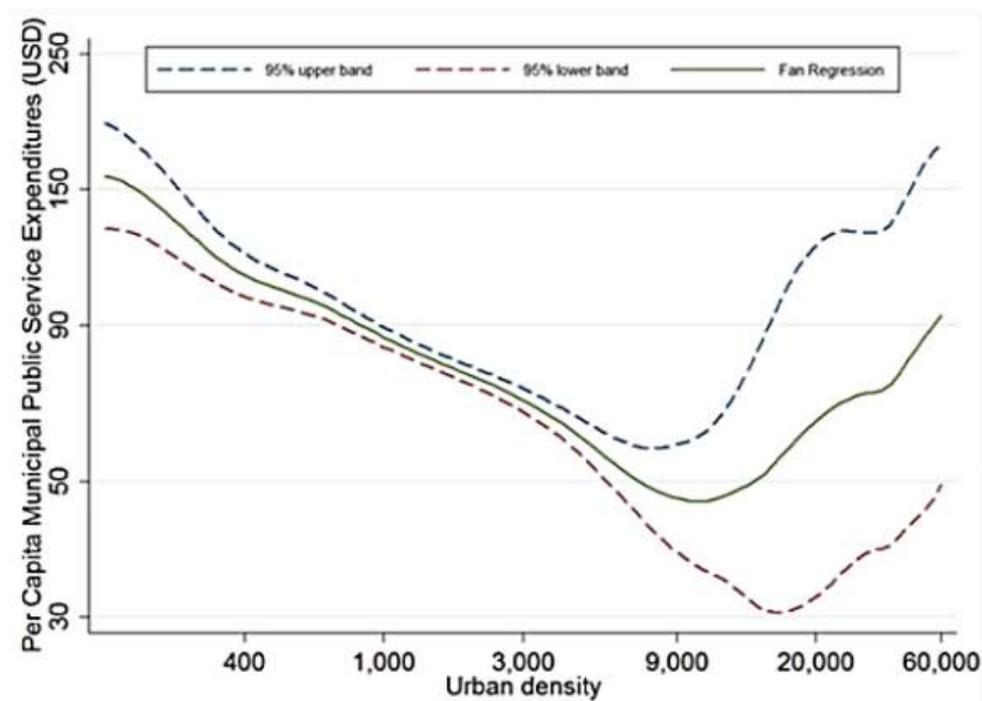


Figura 7:  
Custos relacionados ao saneamento e Densidade Urbana.

Fonte:  
DUREN e COMPEÁN, 2015.

## Área Construída

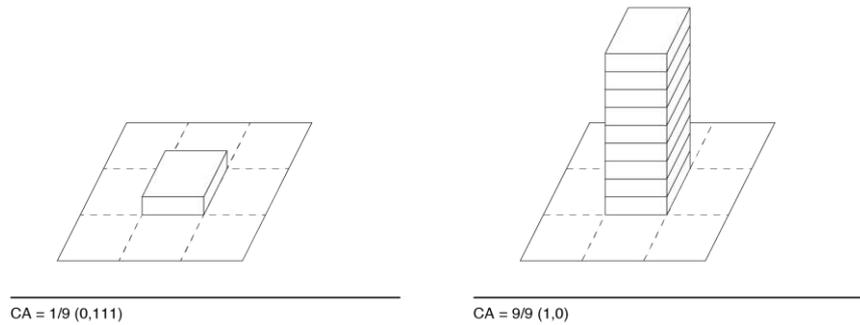
Em planos urbanísticos, a medida de densidade vem correspondendo a Coeficientes ou Índices de Aproveitamento (CA ou IA) (LEHNERER, 2009). Nos Planos, o IA ou CA descreve o fator que, multiplicado pela área do lote, estabelece o potencial construtivo do terreno. A limitação do CA/IA em lotes urbanos possibilitaria, em tese:

- O controle da densidade de ocupação segundo valores de referência, mínimos e máximos, permitindo o equilíbrio entre a oferta de infraestrutura/serviços urbanos e a população a ser atendida;
- A garantia do potencial construtivo do terreno, servindo como ativo e, nesta condição, influenciando na valorização de lotes urbanos;

- A liberdade projetual dada pelo instrumento, uma vez que o mesmo potencial construtivo pode assumir diferentes formas no território.

Figura 8:  
Coeficiente de Aproveitamento aplicado a módulo urbano.

Fonte:  
Elaborada pela autora.



Críticas ao CA/IA como instrumento de controle da ocupação urbana envolvem a baixa previsibilidade da forma construída resultante de sua aplicação e o potencial conflito entre novas ocupações e tecidos consolidados (ANZOLCH, 1995; PORTO ALEGRE, 1998; TURKIENICZ, 2008). A baixa previsibilidade na aplicação do instrumento está relacionada ao fato que, isoladamente, ou seja, sem estar associado a outros parâmetros como recuos e alturas, um mesmo valor de CA/IA pode resultar em diferentes formas construídas. Esta imprevisibilidade seria potencialmente danosa em áreas onde o interesse na paisagem urbana envolve a preservação ou reforço de determinadas características morfológicas locais.

Métricas de densidade podem ser utilizadas tanto na descrição das características de ocupação de áreas urbanas (uso descritivo), quanto como controle da ocupação de áreas urbanas no processo de planejamento urbano (uso prescritivo e/ou normativo). Em seu uso descritivo, os parâmetros de densidade têm demonstrado limitações por não serem capazes de capturar importantes características espaciais de diferentes ocupações urbanas em que o mesmo valor atribuído a densidade de uma área urbana pode corresponder a diferentes formas na

ocupação do território. Da mesma forma, em seu uso prescritivo/normativo, parâmetros de densidade mostram-se limitados no controle da forma pelas razões descritas no seu uso descritivo.

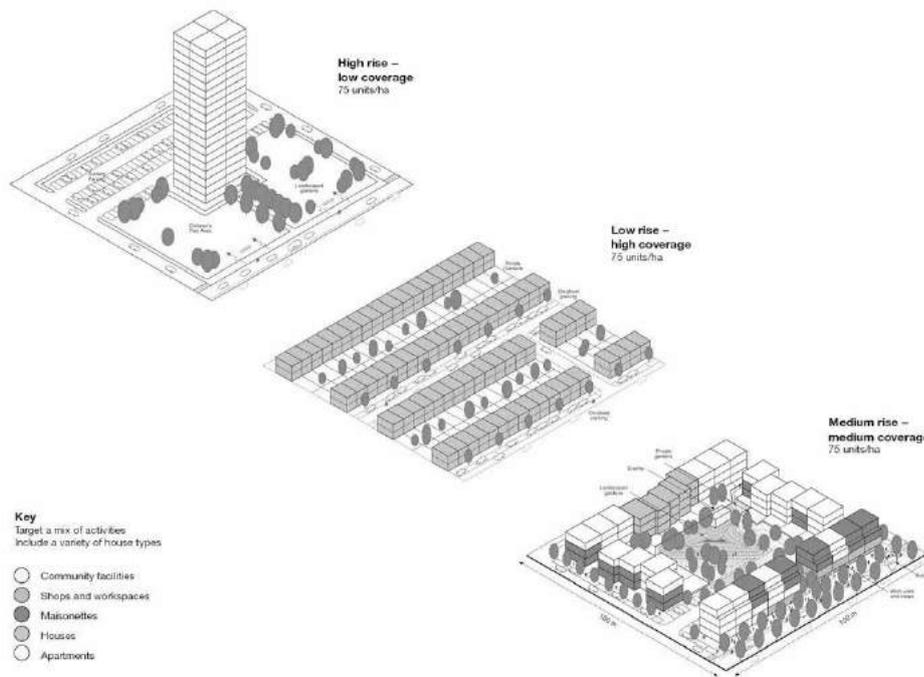


Figura 9; Três formas de ocupação da mesma área com o mesmo número de unidades habitacionais (75 unidades / 1 hectare).

Fonte: Urban Task Force, 1999.

A imprevisibilidade da forma das edificações resultantes da aplicação de métricas predominantemente associadas às densidades trouxe desafios ao controle da paisagem urbana e à garantia de parâmetros mínimos de conforto ambiental. Para superar estes desafios, Berghauer Pont e Haupt (2009) em Spacematrix propõem um modelo capaz de associar forma urbana e densidade. O potencial desta correlação será explorado na seção seguinte.

## 1.2. Densidade e Forma Urbana

A densidade construtiva se externaliza no território através de tipologias edificadas: assim como os valores de densidade demográfica balizam a demanda por equipamentos e serviços, é através da análise da forma edificada que pode ser aferido o impacto dos artefatos sobre o espaço urbano e urbanitas.

Berghauer Pont e Haupt (2010) em Spacematrix oferecem um modelo capaz de associar densidades a formas construídas e permite a identificação de padrões tipológicos associados à diferentes densidades construtivas através do gráfico Spacemate. A possibilidade de estabelecer esta correlação permitiu tornar a variável funcional da densidade, usualmente numérica, mais intuitiva para a ação de arquitetos e urbanistas.

As diferentes variáveis para mensuração da densidade urbana propostas no estudo são extraídas da combinação de 4 (quatro) MEDIDAS BÁSICAS: Base Land Area (A); Network Length (l); Gross Floor Area (F); e Built up area, ou footprint (B). Estes parâmetros básicos são correlacionados de forma a gerar 3 (três) INDICADORES BÁSICOS: Network Density (N); Building Intensity (FSI); e Coverage (GSI). Os Indicadores Básicos, por sua vez, são correlacionados para gerar o que os autores chamam de INDICADORES DERIVADOS: Building Height (L); Spaciousness (OSR); Tare (T); e Mesh e Profile Width (w e b).

Para entender a forma como as métricas propostas pelos autores são acessadas espacialmente na malha urbana, é necessária a descrição de dois conceitos-chave: Base Land Area (A) e Escalas de Agregação.

## Base Land Area (A):

Os limites de uma determinada área de estudo podem ser definidos de diversas formas. O método utilizado para definição de tais limites é particularmente importante nos casos em que as áreas serão utilizadas para comparação, ou na correlação de resultados e indicadores. A tabela abaixo apresenta os três meios principais para a delimitação de áreas, bem como suas vantagens e desvantagens de acordo com Berghauser Pont e Haupt (2010):

LIMITES	DESCRIÇÃO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
ADMINISTRATIVOS	Limites cadastrais e/ou legais que delimitam bairros, municípios, zonas administrativas, dentre outros.	Grande disponibilidade de dados estatísticos.	Diferentes objetivos geram diferentes limites administrativos para uma mesma área, tornando a possibilidade de correlacionar tais sistemas restrita.
PROJETADOS	Limites comumente utilizados em Sistemas de Informações Geográficas, podem corresponder a uma grade arbitrária de pixels ou círculos.	Possibilidade de ajuste de acordo com a pesquisa a ser desenvolvida.	Assim como no caso dos limites administrativos, podem existir problemas para compatibilizar estudos originados por diferentes motivações.
GERADOS	Limites baseados em características morfológicas.	Na aplicação de indicadores, especialmente aqueles referentes à densidade urbana, são mais adequados, pois delimitam áreas homogêneas com relação à morfologia construída.	Requer a leitura preliminar das características do espaço construído de forma a permitir a delimitação da área a ser estudada.

Tabela 1:  
Possibilidades para a delimitação de áreas de estudo.

Fonte:  
Adaptado de BERGHAUSER PONT e HAUPT, 2009.

Para a construção do modelo, os autores propõem a delimitação das áreas para análise através de Limites Gerados, considerada a mais adequada para a correlação entre a densidade e as propriedades espaciais das ocupações urbanas analisadas.

O conceito de Base Land Area é particularmente importante para o acesso das informações a partir da descrição espacial do território e está diretamente vinculada ao segundo conceito-chave: as Escalas de Agregação.

### **Escalas de Agregação**

Para a aplicação de métricas e indicadores, o espaço definido conceitualmente como Base Land Area (A), pode ser desagregado a partir de 5 (cinco) escalas: edificação, lote, ilha (quadra), tecido e distrito, apresentados da menor para a maior escala na Figura 10.

Para cada escala de agregação, à área de estudo calculada a partir dos componentes (edificação/lote/ilha/tecido/distrito) é descontado o espaço entendido como tara. O conceito de tara, comumente definido como a diferença entre a área edificada e o sistema viário, é utilizada pelos autores de acordo com a escala de agregação, conforme apresentado a seguir.

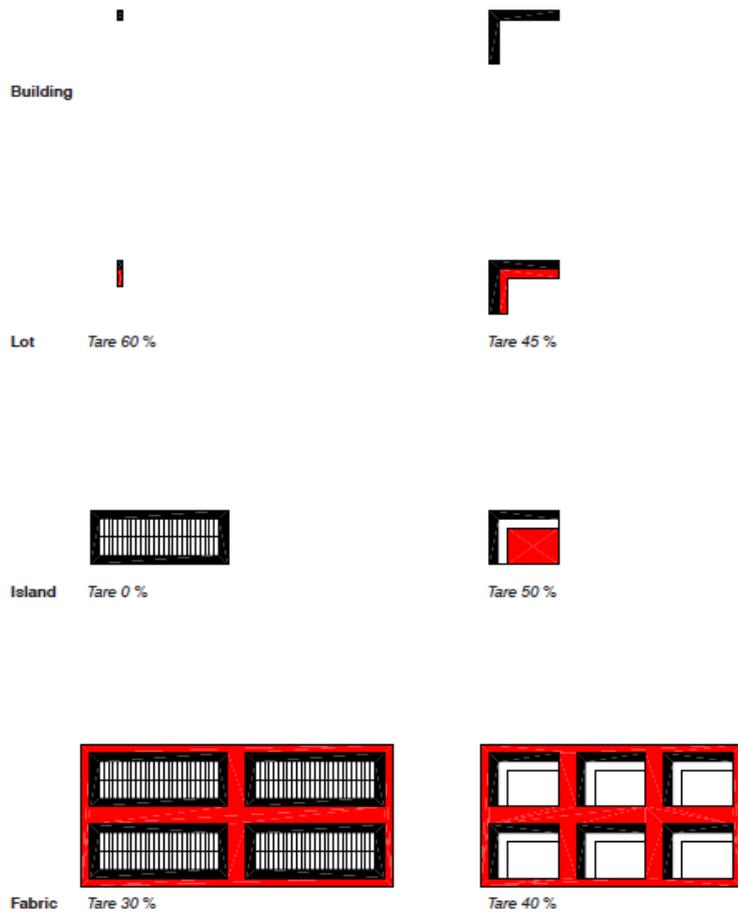
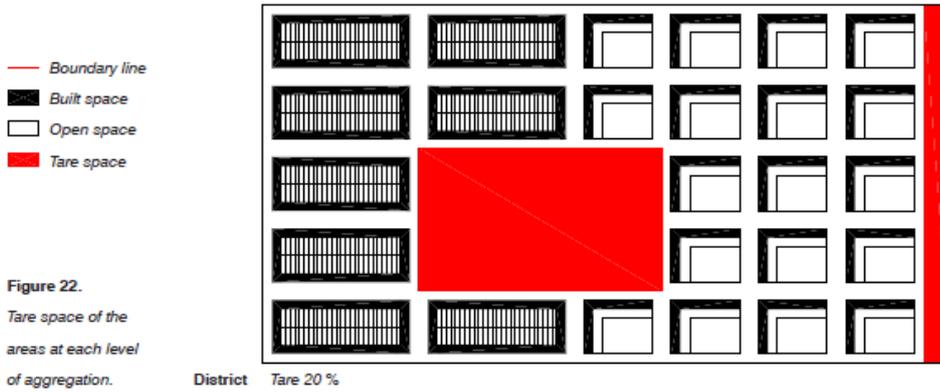


Figura 10:  
Escala de  
agregação  
propostas  
pelos autores.

Fonte:  
BERGHAUSER  
PONT e  
HAUPT, 2009.



## **Edificação**

A edificação tem seus limites definidos pela área de projeção da construção sobre o solo.

## **Lote**

Os limites do lote ou parcela são definidos pela composição de áreas, predominantemente privadas, ocupadas ou não por edificações. A área não construída do lote representa a tara entre a edificação e o lote. Nos casos em que o lote for ocupado integralmente por edificações, edificação e lote tem limites equivalentes. Limites de lote são definidos de acordo com descrição legal prevista em cadastro.

## **Ilha/Quadra**

A área da ilha é correspondente ao que nas cidades tradicionais chamamos de quadra ou quarteirão. A ilha pode compreender um conjunto de lotes e, em alguns casos, espaços não edificáveis como praças e equipamentos urbanos. Os limites da ilha são definidos pelas vias urbanas públicas de contorno.

## **Tecido**

O tecido urbano corresponde a um conjunto de ilhas e as vias de contorno limite e de acesso a estas ilhas. Quando elementos naturais como cursos d'água e áreas verdes integram o sistema viário, estes são considerados parte integrante do sistema de circulação. Este sistema de circulação representa a tara na relação entre ilha e tecido. A recorte do tecido é

determinada pelo nível de homogeneidade morfológica das diferentes ilhas dentro do tecido.

## **Distrito**

O distrito é composto de diferentes tecidos e elementos não edificáveis de larga escala - grandes avenidas, parques e corpos d'água de maior expressão - são incluídos. Estes elementos não edificáveis constituem a tara entre o tecido e o distrito. Os limites do distrito são traçados no eixo das vias de contorno. Em casos em que as vias de contorno também funcionam como parte do sistema de circulação local, os limites do distrito podem coincidir com os limites do tecido.

## **Medidas e Indicadores**

As Tabelas abaixo apresentam as medidas e indicadores propostos pelos autores acompanhados da descrição da escala de agregação compatível, a unidade de medida aplicável e fórmula para cálculo, quando aplicável.

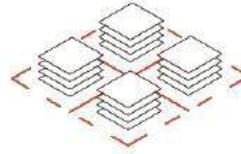
Tabela 2:  
Medidas  
propostas.

Fonte:  
Adaptado de  
BERGHAUSER  
PONT e  
HAUPT, 2009.

## MEDIDAS BÁSICAS

Network Length

Comprimento de Vias  
(internas e externas)

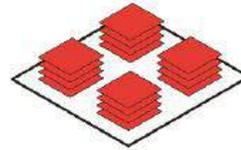


Escala de Agregação:  
FABRIC

Unidade de Medida: METROS  
LINEARES (m)

Gross Floor Area

Área Construída Total

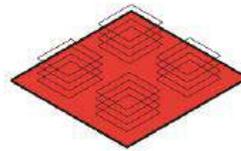


Escala de Agregação: LOT,  
ISLAND, FABRIC OU  
DISTRICT

Unidade de Medida:  
METROS QUADRADOS  
(m<sup>2</sup>)

Base Land Area

Área de Análise

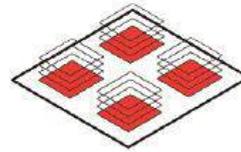


Escala de Agregação: LOT,  
ISLAND, FABRIC OU  
DISTRICT

Unidade de Medida:  
METROS QUADRADOS  
(m<sup>2</sup>)

Footprint

Área de Projeção do  
Térreo sobre o Lote



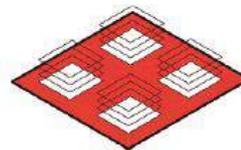
Escala de Agregação: LOT,  
ISLAND, FABRIC OU  
DISTRICT

Unidade de Medida:  
METROS QUADRADOS  
(m<sup>2</sup>)

## MEDIDAS DERIVADAS

Non-Built Space

Área Livre de  
Construções

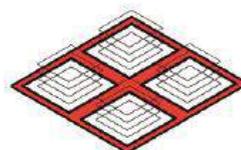


Escala de Agregação: LOT,  
ISLAND, FABRIC OU  
DISTRICT

Unidade de Medida:  
METROS QUADRADOS  
(m<sup>2</sup>)

Tare Difference

Diferença da Tara



Escala de Agregação: LOT,  
ISLAND, FABRIC OU  
DISTRICT

Unidade de Medida:  
METROS QUADRADOS  
(m<sup>2</sup>)

## INDICADORES BÁSICOS

Network Density	$Nf = (\sum li + (\sum le)/2) / Af$ (1)	Escala de Agregação: FABRIC
Densidade da Malha Viária	$li$ = length of interior network (m) $le$ = length of edge network (m) $Af$ = area of fabric (m <sup>2</sup> )	Unidade de Medida:
Building Intensity or Floor Space Index (FSI)	$FSIx = Fx / Ax$ (2)	Escala de Agregação: LOT, ISLAND, FABRIC OU DISTRICT
Índice de Aproveitamento (Executado, PDDUA, Proposto)	$Fx$ = gross floor area (m <sup>2</sup> ) $Ax$ = area of aggregation x (m <sup>2</sup> ) $x$ = aggregation (lot (l), island (i), fabric (f), or district (d))	Unidade de Medida:
Coverage (GSI) or Coverage Index	$GSIx = Bx / Ax$ (3)	Escala de Agregação: LOT, ISLAND, FABRIC OU DISTRICT
Taxa de Ocupação	$Bx$ = footprint of (m <sup>2</sup> ) $Ax$ = area of aggregation x (m <sup>2</sup> ) $x$ = aggregation (lot (l), island (i), fabric (f), or district (d))	Unidade de Medida:

Tabela 3:  
Indicadores propostos.

Fonte:  
Adaptado de BERGHAUSER PONT e HAUPT, 2009.

## INDICADORES DERIVADOS

Building Height (L)	$L = FSIx / GSIx$	Escala de Agregação: LOT, ISLAND, FABRIC OU DISTRICT
Altura média das edificações		Unidade de Medida:
Spaciousness or Open Space Ratio (OSR)	$OSR = (1 - GSIx) / FSIx$	Escala de Agregação: LOT, ISLAND, FABRIC OU DISTRICT
Proporção de Espaço Aberto		Unidade de Medida:
Tare	$Tx = (Ax - \sum Ax1) / Ax$	Escala de Agregação: LOT, ISLAND, FABRIC OU DISTRICT
Tara	$x$ = aggregation x $x1$ = level of scale of the components of which aggregation x is composed.	Unidade de Medida:

A proposta é de um conceito de densidade multivariada que consiste na correlação de diferentes indicadores que permita a definição de tipologias urbanas. A expressão gráfica dessas tipologias pode ser observada a partir do Diagrama Spacemate.

Figura 11:  
Diagrama FSI  
(GSI) ou  
Spacemate.

Fonte:  
BERGHAUSE  
R PONT;  
HAUPT,  
2009.

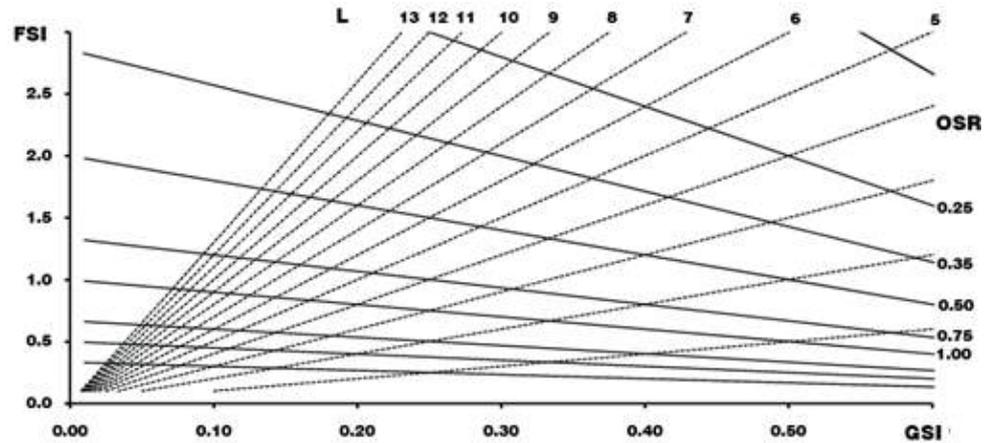
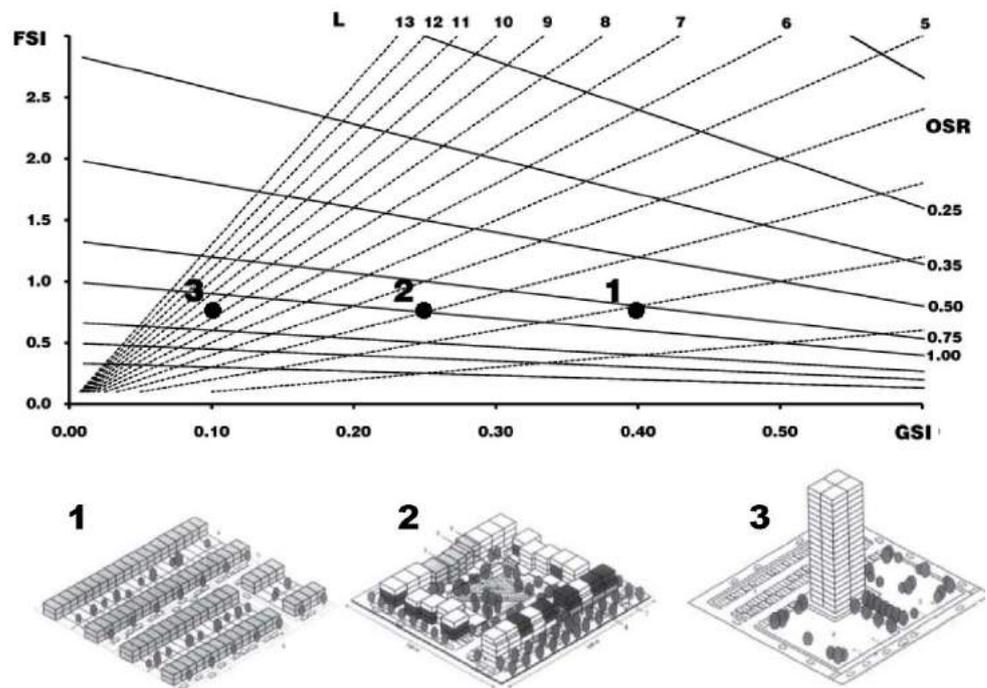


Figura 12:  
Diferentes  
tipologias de  
igual  
densidade  
localizadas  
sobre o  
Diagrama FSI  
(GSI) ou  
Spacemate.

Fonte:  
BERGHAUSE  
R PONT;  
HAUPT,  
2009.



Utilizando o Diagrama Spacemate como base, os autores delimitam valores mínimos e máximos de forma a estabelecer a correlação de indicadores capaz de descrever três tipologias básicas de forma: point, strip e block<sup>6</sup>. Adicionalmente, às tipologias são associados três parâmetros de altura: low-rise, mid-rise e high-rise. Desta correlação, os autores depreendem 9 (nove) tipologias padrão (Figura 13 e Figura 14).

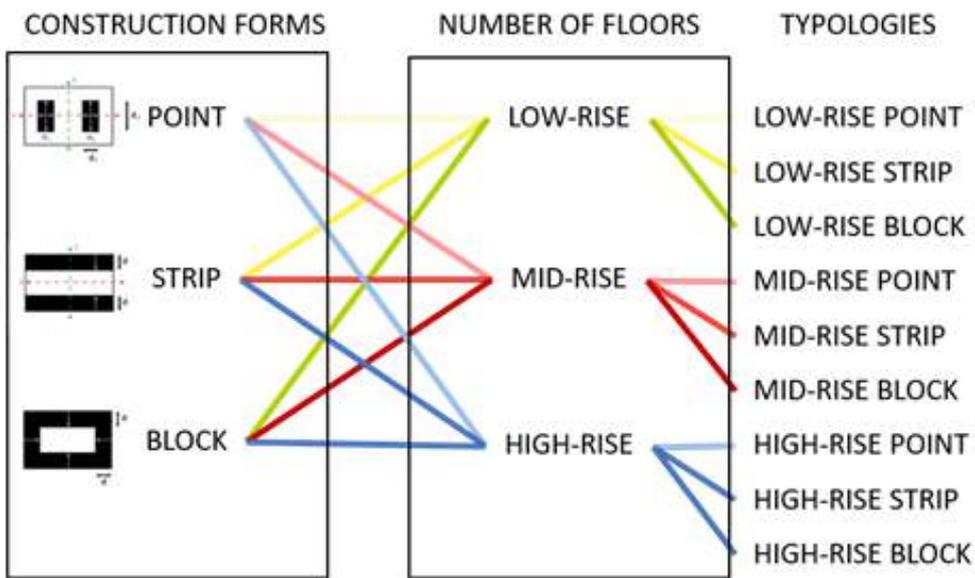


Figura 13: Descrição de tipologias propostas por Pont e Haupt.

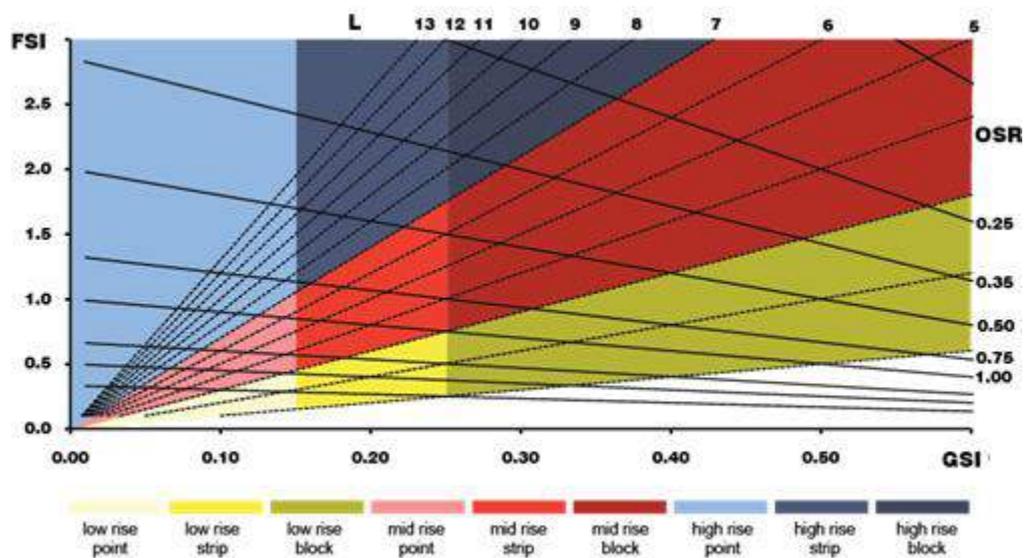
Fonte: elaborado pela autora.

<sup>6</sup> Os autores utilizam os conceitos tipológicos de point/strip/block em referência ao trabalho de Martin & March, Urban Space and structures (1972).

Conforme apresentado anteriormente, o desenho urbano envolve a correlação de variáveis funcionais e conceituais. Pont e Haupt (2009) apresentam cenários de correlação da forma urbana e densidade através do Diagrama Spacemate com relação a 2 (dois) aspectos de performance da forma construída: (1) com relação às variáveis funcionais, os autores relacionam a iluminância; e (2) com relação às variáveis conceituais, apresentam a relação com a urbanidade<sup>7</sup>. Tais aspectos são abordados pelos autores em estudos de caso que serão apresentados a seguir.

Figura 14: Identificação de tipologias de acordo com a abordagem de Pont e Haupt no Diagrama Spacemate.

Fonte: Adaptado de van NES et al, 2012, p. 14.



## APLICAÇÃO DO DIAGRAMA SPACEMATE

O potencial de utilizar o Diagrama Spacemate como base para a correlação entre variáveis conceituais e funcionais é testado pelos autores a partir da hipótese de uso em três situações no âmbito do planejamento urbano:

<sup>7</sup> Urbanidade conceituada como a habilidade de estruturas espaciais de dar suporte a interação entre seus habitantes, promovendo a vitalidade do espaço urbano.

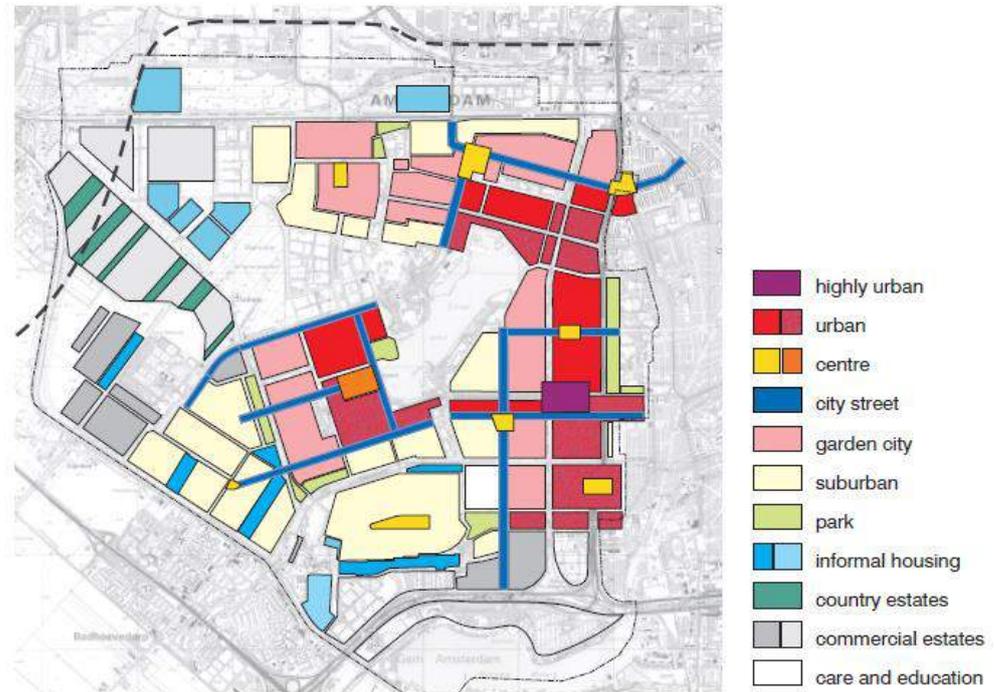
- Prescritivo: orientando o processo de desenho urbano;
- Descritivo: para análise e comparação de diferentes ambientes urbanos e monitoramento espacial do desenvolvimento urbano;
- Exploratório: otimizando a relação entre densidade urbana, forma e performance em pesquisa e projeto urbano.

### Uso Prescritivo do Diagrama Spacemate

O uso prescritivo do Diagrama Spacemate foi testado pelos autores no Plano de Renovação Urbana ParkStad para o Westelijke Tuinsteden em Amsterdam, 2000. Na época de início do projeto, a área selecionada era ocupada por 54.000 unidades habitacionais, com cerca de 80% correspondendo a habitação de interesse social. O objetivo do projeto era estimular a diversidade tipológica habitacional em termos de: propriedade (redução proporcional representativa das habitações de interesse social), preço (atração da classe média) e dimensões (unidades habitacionais com maior área construída). No Plano de Renovação Urbana, como parte das estratégias para o desenvolvimento social e econômico local, foi previsto um incremento de 11.000 unidades habitacionais. Com o objetivo de atingir uma maior densidade associada a uma maior diversidade tipológica, foram definidos e zoneados dez tipos de ambiente, categorizados em: altamente urbano, urbano, centro, cidade jardim, parque, suburbano, campo, habitação informal, comércio e assistência e educação (Figura 15). O uso do Spacemate foi proposto como forma de qualificar a especificação dos ambientes propostos, permitindo o monitoramento e instrumentando projetos futuros com base na distribuição programática proposta espacialmente.

Figura 15:  
Ambientes  
propostos para  
o Plano de  
Renovação  
Urbana  
ParkStad.

Fonte:  
BERGHAUSE  
R PONT e  
HAUPT,  
2009.



Após a realização de três workshops com agentes locais para discussão das características esperadas de cada ambiente associadas à densidade, foram calibradas 5 (cinco) tipologias básicas. A Figura 16 apresenta estas diferentes tipologias urbanas representadas conforme a correlação dos diferentes indicadores de densidade propostos no Diagrama Spacemate. Para o ambiente altamente urbano, por exemplo, foi definido um coeficiente de aproveitamento compatível com a intensidade e vitalidade esperada de ocupação do espaço público adjacente. Para o ambiente suburbano, o foco foi estabelecer limites de altura e de taxa de ocupação, objetivando garantir maior espaço entre as edificações e se afastando de tipologias altas e compactas.

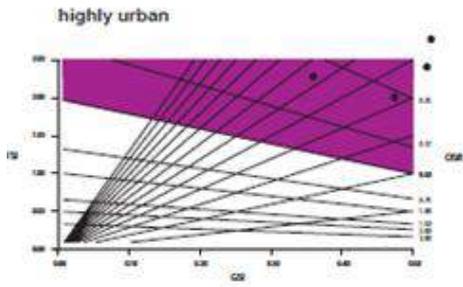
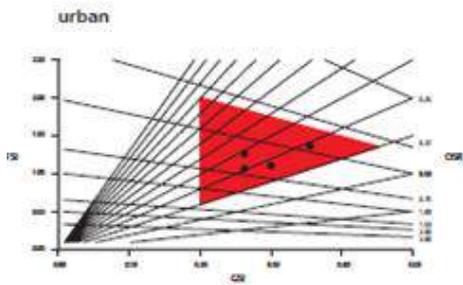
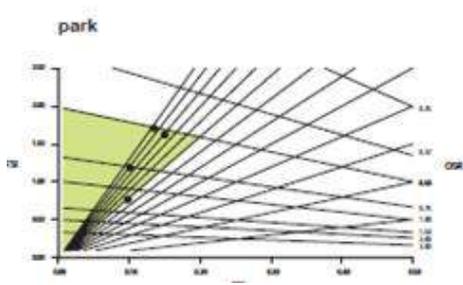
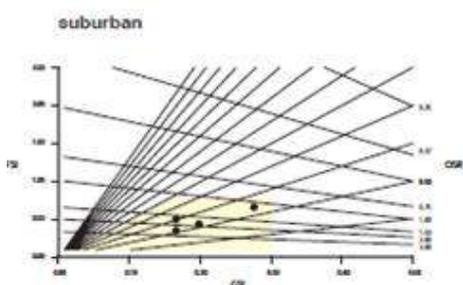
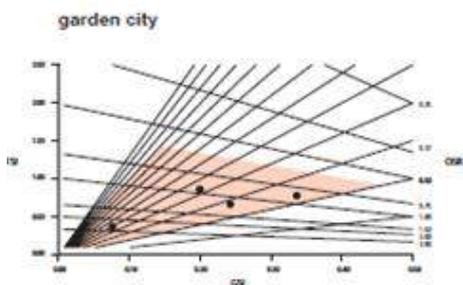


Figura 16:  
Ambientes  
urbanos  
selecionados  
em Parkstad  
(direita) e  
áreas que  
cumprem  
esses critérios  
delimitadas no  
Spacemate.



Fonte:  
BERGHAUSE  
R PONT;  
HAUPT,  
2009.



A avaliação dos resultados alcançados em 2005 revelou inconsistências entre o ambiente planejado e o ambiente executado: o tipo urbano se revelou não “urbano” o suficiente, o tipo cidade jardim se apresentou muito denso e o tipo suburbano muito compacto. Tais inconsistências foram apontadas pelos autores como vinculadas a adoção de parâmetros divergentes dos acordados previamente na construção de edificações. Dentre os elementos que contribuíram para tal divergência, destacaram-se: a ausência de acordos claros sobre como definir a escala na qual as diretrizes do Spacemate seriam aplicadas e avaliadas; e a sobreposição dos tipos propostos no diagrama, gerando dúvida em sua aplicação prática.

A partir da avaliação realizada, duas ações foram tomadas para o alinhamento do projeto: a redução do número de categorias para três, simplificando o processo e garantindo a não sobreposição entre categorias no Diagrama; e uma maior precisão na definição de escalas para a aplicação dos parâmetros, utilizando em alguns casos a escala do tecido e para outros a escala da ilha como unidade de planejamento. Com tais definições em mãos, técnicos municipais e incorporadores puderam utilizar a prerrogativa da flexibilização, especialmente na necessidade de atender a grande procura por habitações unifamiliares do tipo casa isolada, compensando este tipo com outros através da calibragem da densidade planejada no Diagrama. Esta estratégia de compensação é especialmente importante em casos onde a densidade desempenha um papel protagonista, permitindo que o modelo de ocupação previsto originalmente seja calibrado de acordo com a dinâmica de ocupação do tecido construído. A calibragem da densidade, neste cenário, torna-se uma ferramenta de auxílio na tomada de decisão, garantindo, por um lado, a execução de densidades mínimas visando a otimização da infraestrutura e, por outro, a oferta de um mix de tipologias, inclusive de baixa densidade, sem comprometer a viabilidade econômica da ocupação.

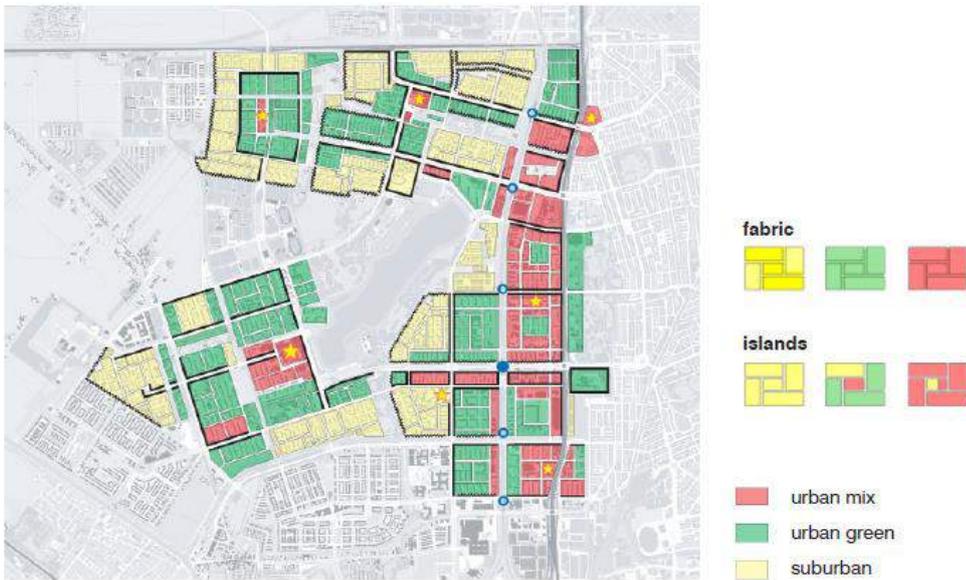
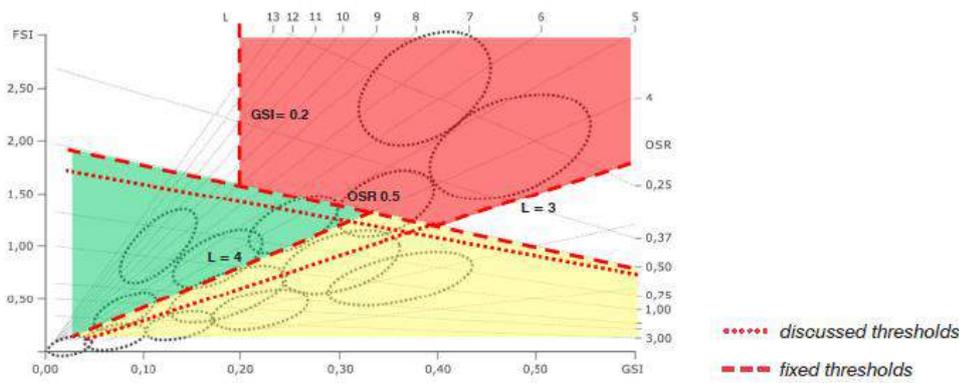


Figura 17:  
Revisão dos  
tipos propostos  
para o Plano  
de Renovação  
Urbana  
ParkStad.

Fonte:  
BERGHAUSE  
R PONT e  
HAUPT,  
2009.



O experimento demonstrou o potencial do uso do Diagrama Spacemate como ferramenta de planejamento urbano, dependente, entretanto, de definições precisas com relação ao limite territorial analisado. Também se demonstrou imprescindível para a aplicação prática a delimitação sem sobreposições das tipologias dentro do Diagrama.

## Uso Descritivo do Diagrama Spacemate

Para o teste do uso descritivo do Diagrama Spacemate os autores utilizaram como estudo de caso o Projeto ZuidoostLob. No caso, uma área urbana predominantemente ocupada por indústrias, empresas e comércio de grande porte foi analisada com relação a alternativas para a transformação em área de uso misto. Com este objetivo, o estudo buscou identificar diferentes tipos urbanos presentes na área e explorar o potencial de transformação através da análise de alternativas tipológicas. A análise inicial foi realizada através da construção de mapas demonstrando espacialmente a distribuição de 4 (quatro) indicadores: FSI correspondente ao coeficiente de aproveitamento; GSI correspondente a taxa de ocupação; L correspondente ao indicador de altura das edificações; e OSR correspondente à taxa de espaço aberto.

A combinação de indicadores resultou na delimitação de 4 (quatro) padrões de ocupação na escala do tecido. Os padrões delimitados foram relacionados aos tipos habitacionais básicos utilizados pelos autores anteriormente: áreas com a presença de comércio e serviço de pequeno porte correspondem ao tipo *low-rise strip*; áreas com predominância de comércio e serviço de médio porte ao *mid-rise strip*; e áreas ocupadas por indústrias ao *low-rise block*.

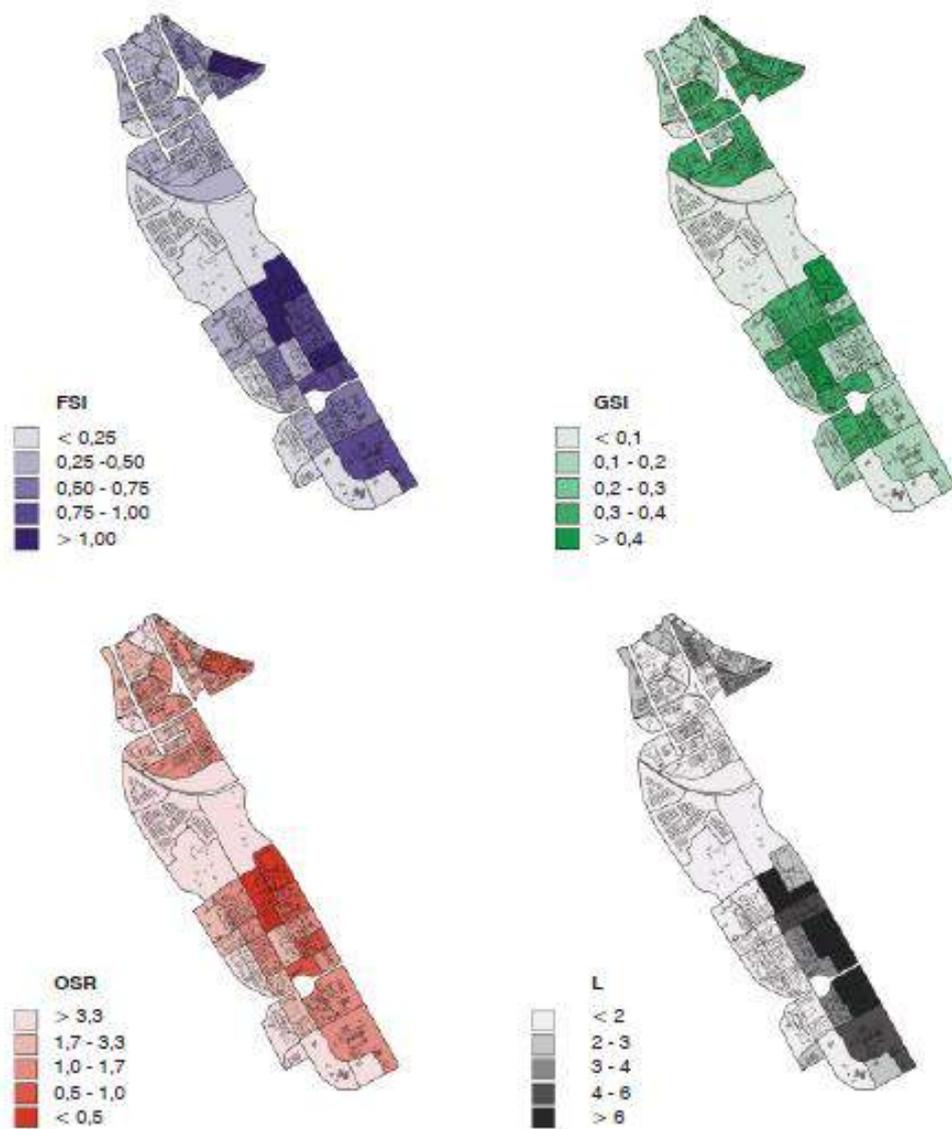


Figura 18:  
Mapas  
produzidos e  
localização no  
Diagrama  
Spacemate.

Fonte:  
BERGHAUSE  
R PONT e  
HAUPT,  
2009.

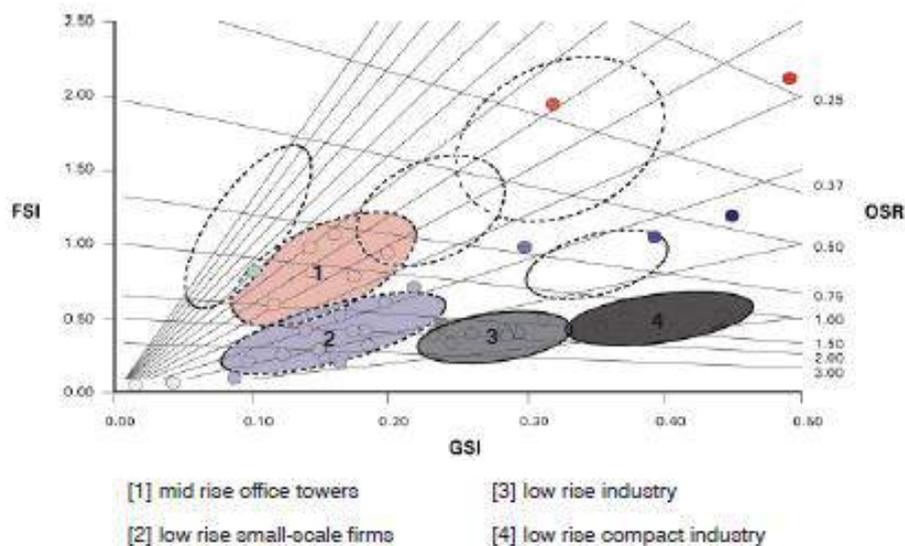
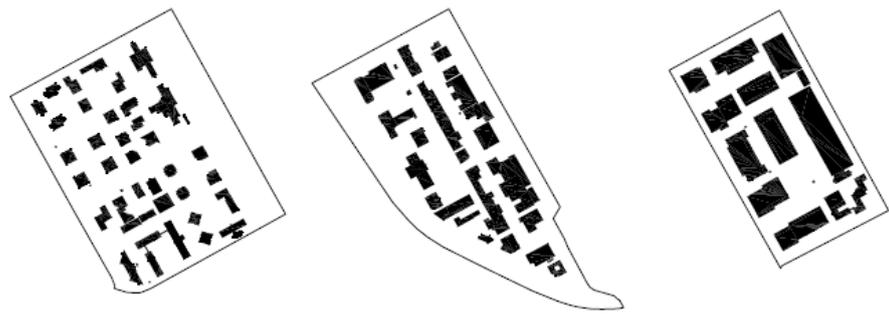
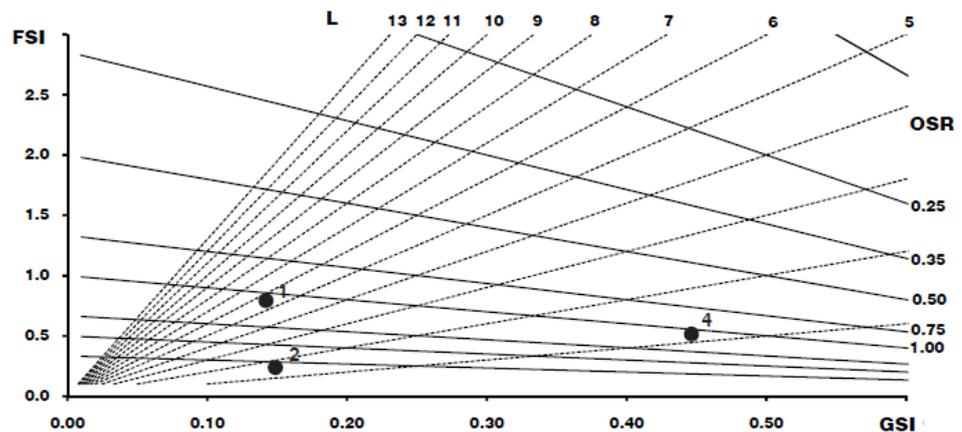


Figura 19: Três amostras representando diferentes modelos de ocupação do território e sua posição no Diagrama Spacemate.



Fonte: BERGHAUSE R PONT e HAUPT, 2009.

[cluster 1]		[cluster 2]		[cluster 4]	
mid rise office towers		low rise small-scale firms		low rise compact industry	
FSI	0.81	FSI	0.23	FSI	0.52
GSI	0.14	GSI	0.15	GSI	0.44
OSR	1.05	OSR	3.66	OSR	1.07
L	5.8	L	1.5	L	1.2
N	0.011	n	0.010	N	0.016



A partir da análise inicial, para atingir o objetivo de incremento da atividade residencial, foram formuladas três estratégias: (i) construção de novas habitações sobre a ocupação existente; (ii) substituição de edificações existentes por unidades habitacionais; e (iii) reuso de edificações existentes para atividade residencial. As três estratégias foram confrontadas com três amostras de ocupação selecionadas: (a) cluster 1 - mid rise office towers; (b) cluster 2 - low rise small scale firms; e (c) cluster 4<sup>8</sup> - low rise compact industry.

<sup>8</sup> Optou-se por manter a numeração original utilizada pelos autores, omitindo o cluster 3 - low rise industry.

Para a primeira estratégia, em que se estabeleceu como condição a permanência das construções existentes, trabalhou-se com o incremento em termos de taxa de ocupação (GSI). De acordo com a análise inicial, tanto o cluster 1 quanto o cluster 2 possuíam baixo GSI, em torno de 0,15 ou 15%. O GSI do cluster 4 foi considerado alto, com quase 0,45 ou 45%. No primeiro caso, em área com folga para o incremento do GSI, pode-se trabalhar com o incremento de 100% no GSI original, adicionando edifícios com altura média de 4 (quatro) andares. Neste cenário, os cálculos indicaram a possibilidade de uma miscigenação de 1:0,5, ou dois habitantes por funcionário; e de 1:1, respectivamente para o caso da ocupação preexistente de pequeno e de médio porte. No segundo cenário, do cluster 4, em que se partiu do princípio de não ampliar os valores de GSI, apenas a construção sobre as edificações existentes possibilitaria a densificação. Neste caso, os valores de miscigenação ficariam na ordem de 1:3,7. Apesar de possibilitar um cenário de miscigenação, esta segunda alternativa foi considerada menos viável devido às dificuldades técnicas e altos custos envolvidos.

A segunda estratégia explorou a possibilidade de demolição de parte do tecido existente, introduzindo tipologias habitacionais. De forma a prover soluções que permitissem o equilíbrio entre residentes e trabalhadores em soluções tipológicas compatíveis com o tecido existente, foram correlacionados: os valores de miscigenação pretendidos; e a superfície consumida por habitante de acordo com a tipologia habitacional selecionada. Desta forma, foi obtida como resultado a solução tipológica mais adequada para cada cenário sob a prerrogativa de trabalhar com taxas de renovação<sup>9</sup> reduzidas:

---

<sup>9</sup> Neste contexto, o termo renovação está relacionado à substituição de tecido existente por novas construções.

- Cluster 1 - mid rise office towers: para este padrão de ocupação a solução de apartamentos se mostrou mais adequada, apresentando taxa de renovação de menos de 50% contra os 80% originalmente previstos no caso da densificação através de residências unifamiliares;
- Cluster 2 - low rise small scale firms: o mesmo retorno obtido para o cluster 1 - uma unidade habitacional de 125 m<sup>2</sup> para 60 m<sup>2</sup> de área demolida, é garantido no cluster 2 com a construção de residências unifamiliares. Neste caso, os resultados são ainda melhores se considerasse o uso de tipologias mais densas como casas geminadas ou casas isoladas combinadas com edifícios de apartamento;
- Cluster 410 - low rise compact industry: no caso do cluster 4, a proporção de 125 m<sup>2</sup> de habitação por 15 m<sup>2</sup> de área demolida é facilmente atingido mesmo com tipologias menos densas.

A terceira estratégia, com o reuso das edificações existentes, não acarreta em alterações no FSI. Nos casos de ocupação industrial, 50% das edificações existentes deveriam ser convertidas em habitação. No caso das áreas comerciais e de serviço, em razão de representarem um uso de maior intensidade de trabalhadores por m<sup>2</sup>, 70% deveria ser transformado de forma a garantir a proporção de 1 residente para 1 trabalhador.

A avaliação dos resultados possíveis com cada uma das estratégias, levou os autores a concluir que a indústria de pequena escala ao longo da rodovia seria a de mais fácil conversão em área de uso misto. O principal argumento para tal afirmação é que, no cenário mencionado, uma menor área de superfície precisaria ser substituída de forma a atingir a proporção de 1 (um) morador para 1 (um) trabalhador. Embora um dos cenários tenha apresentado melhor desempenho, a combinação de estratégias poderia ser aplicada simultaneamente em um processo de transformação de baixo para cima. De acordo com a performance de cada cluster para

---

<sup>10</sup> Optou-se por manter a numeração original utilizada pelos autores, omitindo o cluster 3 - low rise industry.

os cenários construídos, orientou-se a administração municipal no sentido de iniciar o processo de transformação a partir dos cluster de mais fácil reconversão, demonstrando o potencial do modelo como suporte à tomada de decisão.

## Uso Exploratório do Diagrama Spacemate

O uso exploratório do Diagrama Spacemate corresponde ao uso do modelo na identificação de alternativas para a ocupação de áreas urbanas, possibilitando a identificação do potencial que determinado local oferece para o desenvolvimento urbano. Para testar a aplicação do Diagrama neste contexto, os autores analisaram dois projetos. O primeiro, OndersteBoven foi encomendado pelo Ministério do Ordenamento do Território e Ambiente na Holanda<sup>11</sup> com o objetivo de avaliar a capacidade espacial local na promoção de uma maior urbanização da região entre Leiden e Alphen aan den Rijn. O segundo projeto, localizado em Alkmaar, trata da otimização econômica e espacial sobre uma ocupação urbana através da manipulação de parâmetros espaciais.

No projeto OndersteBoven o objetivo principal era realizar um inventário das possibilidades para o desenvolvimento local através de soluções de baixa densidade. Com este objetivo, ao invés de projetar um determinado programa para uma determinada localização, o projeto buscou definir o programa baseado nas propriedades locais intrínsecas do território. No caso em tela, as condições do solo combinadas com características da paisagem e da acessibilidade local, estabeleceram possibilidades para a urbanização futura da área. Neste caso, o Diagrama Spacemate foi utilizado para traduzir as condições do território em parâmetros de densidade e possíveis formas urbanas relacionadas a tais parâmetros.

---

<sup>11</sup> Ministry of Spatial Planning and the Environment in the Netherlands (VROM).

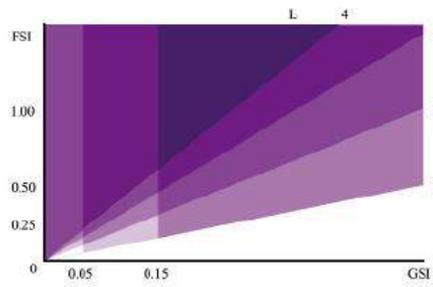
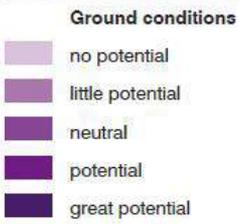
Figura 20:  
Região em  
análise.

Fonte:  
BERGHAUSE  
R PONT e  
HAUPT,  
2009.

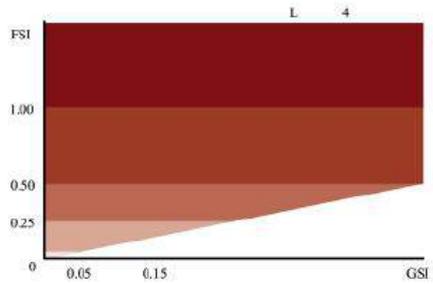
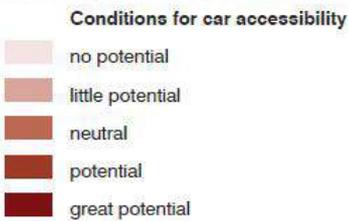
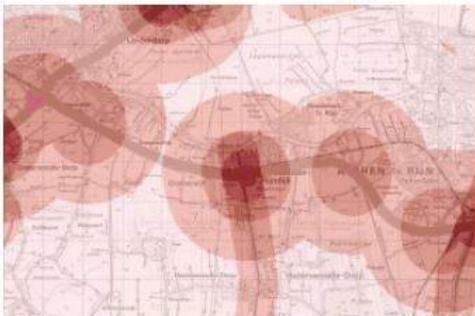


O estudo se dividiu em três passos:

- Registro das regulamentações e restrições à ocupação do território, como áreas ao longo de rodovias e outras redes de infraestrutura, áreas de proteção ambiental e outros;
- Correlação de diferentes características do ambiente local - aspectos relacionados ao solo (condições de estabilidade do solo e nível dos corpos d'água para traçar áreas com risco de alagamento), acessibilidade (tanto da perspectiva do veículo individual quanto do transporte público) e valor do solo - através do uso de Sistema de Informação Geográfica para geração de mapas de "oportunidades";
- Tradução das "oportunidades" identificadas no segundo passo em critérios de densidade (Figura 21) resultando em mapas síntese da proposta para ocupação da área (Figura 22).



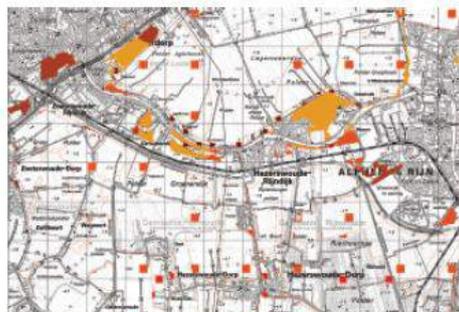
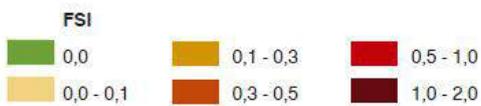
**FSI gradient ground conditions**



**FSI gradient car accessibility**



**FSI on district level**



**FSI on fabric level**

Figura 21: Características do território e correlação com o modelo de densidade Spacemate.

Fonte: BERGHAUSE R PONT e HAUPT, 2009.

Figura 22: Mapas de densidade gerados através da sobreposição dos mapas de "oportunidade" com parâmetros do Spacemate.

Fonte: BERGHAUSE R PONT e HAUPT, 2009.

A análise realizada demonstrou o potencial do Diagrama Spacemate como ferramenta para exploração de opções para a ocupação do espaço urbano na macroescala. O projeto é um exemplo da aplicação do Spacemate em um processo em que se busca investigar possibilidades para ocupação de determinado território. Nestas circunstâncias, o Spacemate pode ser usado como uma ferramenta de apoio ao estudo preliminar.

No projeto Alkmaar o objetivo principal era intensificar o uso do solo, ou seja, promover maiores densidades na ocupação do território:

- Estratégia 1: ampliação da área do plano (+A);
- Estratégia 2: aumento do número de unidades habitacionais (+FSI e/ou +GSI);
- Estratégia 3: aumento da densidade apenas em determinadas porções do território (+FSI e/ou +GSI);
- Estratégia 4: redução na proporção de espaços abertos públicos (menor  $T_f$  e  $T_d$ ).

Figura 23:  
Projeto  
Alkmaar.

Fonte:  
BERGHAUSE  
R PONT e  
HAUPT,  
2009.



Neste caso, o Spacemate foi utilizado para explorar até que ponto o território poderia ser densificado e de que formas, através de 4 (quatro) estratégias representadas esquematicamente na Figura 24:

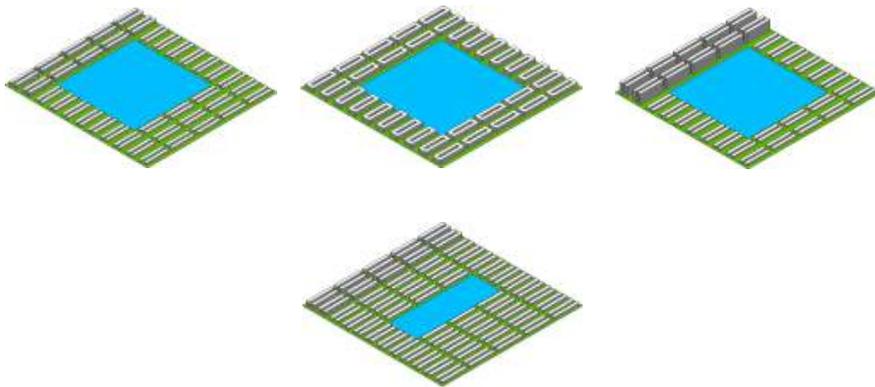


Figura 24: (a) estratégia 1; (b) estratégia 2; (c) estratégia 3; e (d) estratégia 4.

Fonte:  
BERGHAUSER  
PONT e  
HAUPT,  
2009.

A combinação das 4 (quatro) diferentes estratégias para a ocupação do território resultaram na proposta representada na Figura 25.

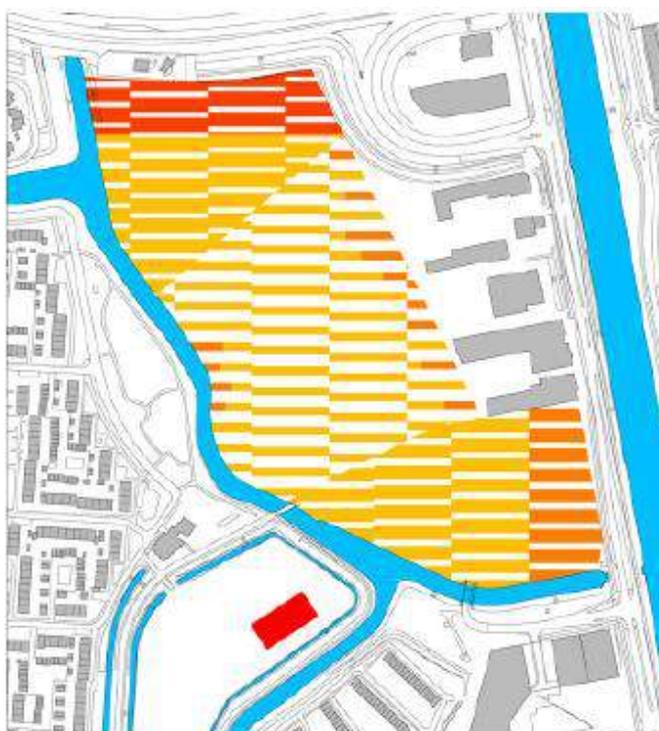


Figura 25:  
Proposta  
baseada em  
parâmetros de  
densidade  
aplicados ao  
território.

Fonte:  
BERGHAUSER  
PONT e  
HAUPT,  
2009.

FSI / GSI		
 0,7 / 0,2	 1,4 / 0,2	 3,5 / 0,4
 1,4 / 0,4	 2,8 / 0,4	

## Eficácia do Uso do Diagrama Spacemate na Prática

Os exemplos utilizados pelos autores para demonstrar a aplicação do Diagrama Spacemate nos processos de projeto e na análise de ocupações existentes demonstraram o potencial da ferramenta tanto na descrição do espaço quanto na prescrição de regras. Com o objetivo de estabelecer os desafios reconhecidos pelos autores e que deverão ser enfrentados para aplicação do método dentro do escopo desta pesquisa, relacionamos abaixo as principais conclusões sobre a aplicação do modelo:

- Definir as escalas em que as diretrizes de densidade serão aplicadas, especialmente nos níveis mais baixos garantindo o controle da forma resultante;
- Evitar sobreposição de tipos dentro do Diagrama Spacemate, delimitando de forma mais precisa as diferentes tipologias a serem testadas na ocupação do território;
- Utilizar o Diagrama Spacemate não apenas para teste de tipologias propostas, mas como ferramenta durante o processo de projeto.

Apesar dos desafios relacionados à aplicação do Diagrama Spacemate no processo projetual de arquitetos e urbanistas, o trabalho desenvolvido na publicação Spacematrix (2009) representou um avanço na aferição de métricas de descrição de densidade ao adicionar a componente forma nas medidas e nos indicadores propostos. O potencial do método na descrição do espaço construído e como ferramenta de apoio para elaboração de alternativas para a realização da densidade prevista no PDDUA será testado para recortes territoriais de Porto Alegre, detalhado na Seção Materiais e Métodos.

### 1.3. Densidade no 2º PDDUA de Porto Alegre

O processo de reformulação do 1º PDDU que culminaria, em 1999, no 2º PDDUA, teve início em 1993 com o projeto *Porto Alegre Mais - Cidade Constituinte*<sup>12</sup>. Em dezembro do mesmo ano, do I Congresso da Cidade<sup>13</sup>, extraíram-se as principais diretrizes para o desenvolvimento do território que envolviam a reformulação dos parâmetros urbanísticos de forma a evitar a subutilização da infraestrutura e dos equipamentos urbanos (GUIMARAENS, 2008). Estudos e debates realizados nos anos seguintes colocaram a densificação urbana como um dos principais temas do Projeto de Reformulação do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Porto Alegre (1º PDDU).

Nos anos seguintes, aprovam-se duas leis que representavam avanços sobre o tema: a LC 312/1993 - Lei dos Vazios Urbanos, prevendo instrumentos com vistas à indução da ocupação de vazios urbanos em Áreas Urbanas de Ocupação Prioritária (AUOP); e a LC 315/1994 - Lei do Solo Criado (SC), regulamentando a possibilidade de aquisição de índices construtivos em áreas específicas nos limites do território municipal.

---

<sup>12</sup> O projeto Porto Alegre Mais - Cidade Constituinte foi instalado pela Ordem de Serviço nº1, de 04/01/93, através de uma comissão mista - composta por membros do governo e da administração municipal, entidades da sociedade civil organizada e comunidade - com a incumbência de apresentar o projeto que deveria promover a discussão sobre a cidade. (GUIMARAENS, 2008)

<sup>13</sup> O I Congresso da Cidade, parte do processo de debate instituído pelo projeto Porto Alegre Mais - Cidade Constituinte, resultou em diretrizes agrupadas em 9 (nove) metas para o desenvolvimento da cidade: (1) cidade com gestão democrática; (2) cidade descentralizada; (3) cidade que combate às desigualdades e a exclusão social; (4) cidade que promove as qualidades de vida e do ambiente; (5) cidade culturalmente rica e diversificada; (6) cidade atrativa e competitiva; (7) cidade que articula a parceria público/privado; (8) cidade com estratégia para se financiar; e (9) cidade articulada à Região Metropolitana (Em: [http://www2.portoalegre.rs.gov.br/spm/default.php?reg=4&p\\_secao=31](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/spm/default.php?reg=4&p_secao=31) Acesso em 22 de junho de 2019).

Visando incorporar os conceitos estabelecidos pela LC 312/1993 e pela LC 315/1994, a Revisão do 1º PDDU envolveu a avaliação da capacidade de adensamento no território municipal, propondo “instrumentos, critérios e parâmetros de densidade compatíveis com a diversidade de Porto Alegre” (MARASCHIN, 1998). Como resultado, o tema passou a ser abordado no sistema de planejamento (ainda em vigor) a partir da dimensão CONCEITUAL e sua aplicação ESPACIAL.

A dimensão CONCEITUAL, está presente em 3 (três) componentes: (1) ESTRATÉGICA – que apresenta diferentes estratégias para o desenvolvimento urbano de Porto Alegre; (2) REGULADORA – que estabelece as regras que devem, necessariamente, estar articuladas às estratégias, contribuindo para sua consolidação no território; e (3) GESTÃO/MONITORAMENTO – permitindo o acompanhamento e a eventual revisão/readequação de parâmetros de acordo com a evolução da cidade. As componentes Estratégica e Reguladora, apoiadas pelo Sistema de Gestão/Monitoramento devem atuar em conjunto para que a cidade atinja a visão definida pelo PDDUA:

“Porto Alegre crescendo dentro de estratégias de desenvolvimento sustentável, harmonia com o meio ambiente e garantia de qualidade de vida para as futuras gerações”.  
(PORTO ALEGRE, 1999)

A aplicação ESPACIAL da dimensão conceitual no território da cidade é consensuada no Modelo Espacial<sup>14</sup> e aplicada no território através de 7 (sete) escalas de agregação: (1) Regiões de Gestão do Planejamento (RGP); (2) Macrozonas (MZ); (3) Bairros (B); (4) Unidades de Estruturação Urbana (UEU); (5) Subunidades de Estruturação Urbana (SUBUEU); (6)

---

<sup>14</sup> A Revisão do PDDUA em 2010 revogou o artigo que fazia referência ao Modelo Espacial no plano, no entanto, como os demais artigos de descrição do modelo foram mantidos, entende-se que a figura de 1999 representa, ainda que em parte, a síntese das intenções previstas no Plano.

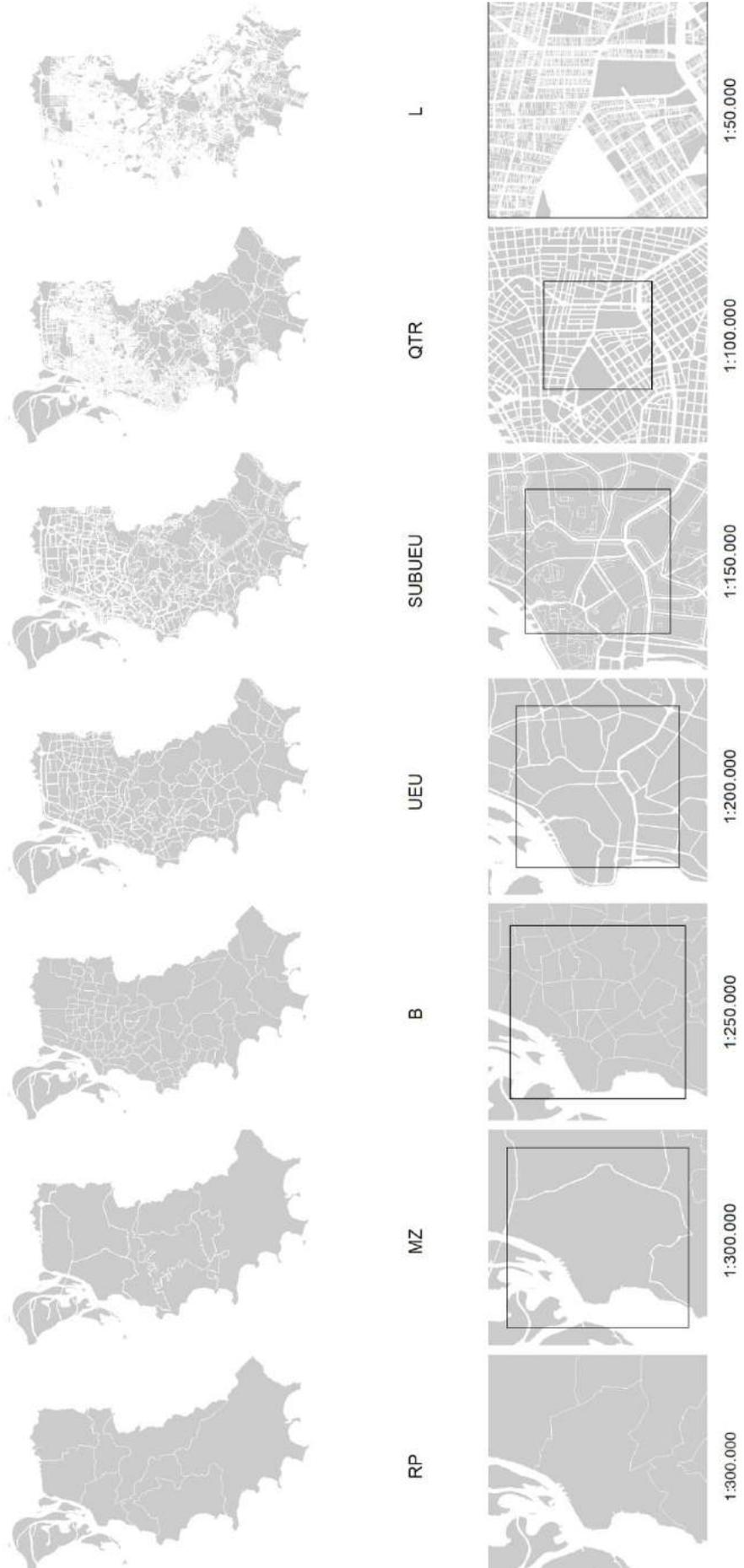
Quarteirões (QTR); e (7) Lotes (L). Cada uma destas escalas desempenha um papel na disciplina de ocupação e monitoramento do território de Porto Alegre. Em tese, as diferentes escalas poderiam ser agrupadas de acordo com um sistema de hierarquia de objetos urbanos em que: o Lote estaria contido no QTR; o QTR na SUBUEU; a SUBUEU na UEU; a UEU no Bairro; o Bairro na MZ; e, finalmente, a MZ na RGP. Entretanto, tal lógica não é estabelecida na correlação de escalas proposta pelo 2º PDDUA. A inconsistência resulta do conflito entre os limites das RPs que seguem a divisão administrativa dos Bairros, ao contrário das demais escalas. Como consequência, a aplicação espacial das diferentes escalas de agregação propostas segue duas lógicas distintas: uma das RPs/Bairros e outra da MZ/UEU/SUBUEU/QTR/L. As escalas, das RPs e dos Bairros, estão diretamente relacionadas à descrição do território para gestão participativa e monitoramento dos resultados da aplicação dos parâmetros previstos nas componentes estratégica e reguladora. A escala das MZs corresponde a conjuntos de Unidades de Estruturação Urbana com características peculiares quanto a aspectos socioeconômicos, paisagísticos e ambientais, voltadas para “(...) desenvolvimento sustentável do território”. Na escala das MZs definem-se, por exemplo, estratégias como a promoção da ocupação de vazios urbanos com o objetivo de otimizar o uso da infraestrutura instalada, prevista para a Cidade Xadrez - Macrozona 3, com vistas a potencializar a ocupação em área de alcance metropolitano. A partir da escala da UEU, ocorre uma sucessiva desagregação do território de forma a especificar os parâmetros a serem obedecidos nos quarteirões e nos lotes para as novas construções. Neste último nível são acessadas as normas relativas à densificação, regime de atividades, dispositivos de controle das edificações e parcelamento do solo<sup>15</sup>.

---

<sup>15</sup> Normas gerais do Regime Urbanístico, conforme previsto no Art. 94 do 2º PDDUA de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 1999).

Figura 26:  
Escalas  
previstas no 2º  
PDDUA de  
Porto Alegre.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



Componentes Conceituais/Estratégicos e Funcionais/Reguladores de planejamento urbano tem lógicas distintas: a abordagem conceitual/estratégica contém princípios e diretrizes gerais obedecendo uma lógica de “cima para baixo” (*top-down*) e componentes reguladores estabelecem regras “de baixo para cima” (*bottom-up*). Na abordagem *top-down* cada nível vai sendo detalhado, do nível mais alto para o nível mais baixo, possibilitando especificações em escala mais ampla a serem aplicadas nos diferentes níveis do elemento abordado. Na abordagem *bottom-up* a abrangência de atributos é feita a partir do nível mais baixo em direção aos níveis mais altos (WIRSCH, 2014).

Considerando a aplicação ESPACIAL da dimensão conceitual do Plano de Porto Alegre na definição do regime urbanístico, podemos aplicar a lógica *top-down/bottom-up* da CIDADE/MZ ao Lote. A transição de escalas enquanto lógica espacial de aplicação das regras previstas no Plano, sugere a abordagem apresentada no diagrama abaixo:

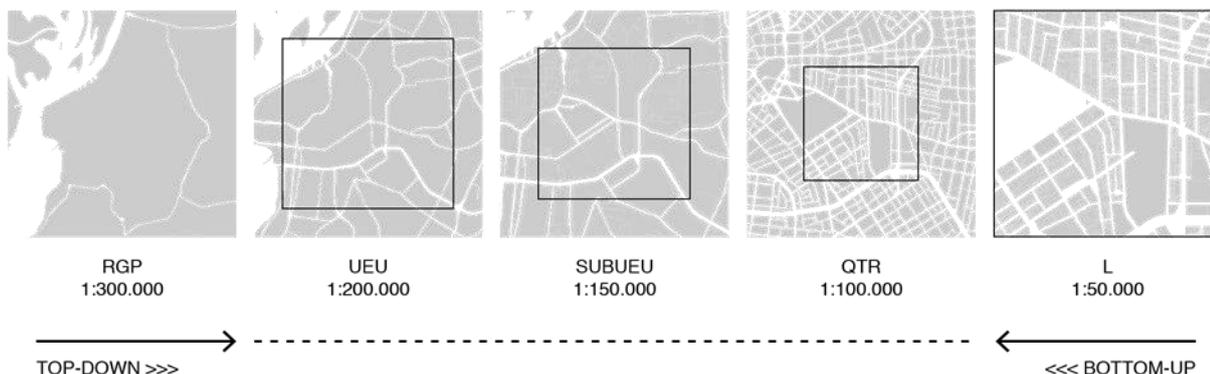


Figura 27:  
Diagrama da  
relação entre  
os objetos  
urbanos e as  
componentes  
do PDDUA.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

Nesta abordagem, a componente estratégica define linhas gerais para a ocupação do território na escala da Cidade/MZ enquanto a componente reguladora (bottom-up) busca através de regras específicas, disciplinar a ocupação de Lotes.

A título de exemplo, uma estratégia poderia propor a promoção do adensamento de determinado eixo urbano objetivando otimizar o uso da infraestrutura instalada em determinado corredor de desenvolvimento. Tal estratégia deveria, neste caso, aparecer representada espacialmente na escala da Cidade/Macrozona, correlacionada à leitura da disponibilidade de infraestrutura no território. Neste caso, as regras – o regime urbanístico – para a construção de novas edificações nestas áreas deveriam prever parâmetros (de altura, taxa de ocupação, recuos e índice de aproveitamento) compatíveis com a densidade planejada na escala do Lote. A abordagem do tema DENSIDADE dentro do 2º PDDUA de Porto Alegre passa necessariamente pela compreensão do assunto dentro desta lógica.

O controle espacial da distribuição da Densidade Populacional no território, está relacionado aos seguintes princípios vinculados às três componentes/dimensões básicas do 2º PDDUA, apresentados na Tabela 4:

COMPONENTE/DIMENSÃO		
ESTRATÉGICA	REGULADORA	GESTÃO/ MONITORAMENTO
A densificação controlada, associada à perspectiva de otimização e racionalização dos custos de produção da cidade <sup>[1]</sup> . Para este fim, parâmetros de densidade específicos são associados espacialmente à Área de Ocupação Intensiva e à Área de Ocupação Rarefeita.	O controle da densidade a partir de parâmetros previstos por UEU (densidade populacional máxima) e, conseqüentemente, por lote urbano (densidade construída máxima) <sup>[2]</sup> .  Na escala do Lote, o IA é o instrumento de controle urbanístico das densidades populacionais previstas para as UEUs. <sup>[3]</sup>	O monitoramento da densidade de forma a compatibilizar com a oferta de infraestrutura e serviços urbanos (diretamente vinculado à dimensão estratégica) <sup>[4]</sup> .

Tabela 4:  
Componentes  
do 2º PDDUA  
e relação com  
o tema  
densidade.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

[1] "Art. 26. Modelo Espacial é o conjunto das diretrizes de desenvolvimento urbano expresso através de representações espaciais consubstanciadas nas Estratégias... § 2º - Constituem princípios básicos do Modelo Espacial proposto: ...III. A densificação controlada, associada à perspectiva de otimização e racionalização dos custos de produção da cidade;". (PORTO ALEGRE, 1999)

[2] "Art. 106 - Índice de Aproveitamento é o instrumento de controle urbanístico, no lote, das densidades populacionais previstas para as Unidades de Estruturação Urbana. § 1º - Índice de Aproveitamento - IA - é o fator que, multiplicado pela área líquida de terreno, define a área de construção adensável. (Redação do § 1º modificada pela L.C. n° 646, de 22 de julho de 2010). § 2º - Área líquida de terreno é a área não atingida por traçado do PDDUA." (PORTO ALEGRE, 1999)

[3] "Art. 106 - Índice de Aproveitamento é o instrumento de controle urbanístico, no lote, das densidades populacionais previstas para as Unidades de Estruturação Urbana." (PORTO ALEGRE, 1999)

[4] "Art. 66 - O Município promoverá o monitoramento da densificação através de patamares máximos de densidade por Macrozona e Unidades de Estruturação Urbana, com o objetivo de atender à demanda e racionalizar os custos de produção e manutenção de equipamentos urbanos e comunitários de forma a garantir o desenvolvimento urbano sustentável." (PORTO ALEGRE, 1999)

Além da relação com os componentes do Plano, para compreender as métricas do modelo de densidade do PDDUA, é necessário examiná-las à luz da sua relação com as diferentes escalas de agregação: MZ, UEU, SUBUEU, QTR e L.

## MACROZONA

A Macrozona é a unidade espacial de representação das estratégias para a ocupação do território na macroescala. O Plano associa a delimitação espacial de 9 (nove) Macrozonas ao conjunto de Unidades de Estruturação Urbana com características peculiares quanto a aspectos socioeconômicos, paisagísticos e ambientais. A Tabela 5 apresenta cada uma destas Macrozonas, associadas à sua localização no território municipal e a descrição correspondente no PDDUA.

De acordo com as características definidas, as diferentes Macrozonas de Porto Alegre podem ter a seguinte interpretação sobre o tema densidade, representadas no mapa síntese apresentado na Figura 28.

Conforme enunciado no Art. 66 do 2º PDDUA, é nas Macrozonas e nas Unidades de Estruturação Urbana que são estabelecidos os patamares máximos de densidade populacional alinhados com o Modelo Espacial do Plano. Valores de referência para esta ocupação são definidos nos artigos 67 e 68 do Plano e no Anexo 4 - Densidades Brutas que tem sua aplicação no território delimitada pelas duas escalas de agregação seguintes: a UEU e a SUBUEU.

MACROZONA	DESCRIÇÃO	ESPACIALIZAÇÃO
Macrozona 1 - Cidade Radiocêntrica	Área mais estruturada do Município, com incentivo à miscigenação e proteção ao patrimônio cultural.	
Macrozona 2 - Corredor de Desenvolvimento	Estratégica para empreendimentos autossustentáveis de polarização metropolitana.	
Macrozona 3 - Cidade Xadrez	Cidade a ser ocupada através do fortalecimento da trama macro estruturadora xadrez, do estímulo ao preenchimento dos vazios urbanos e da potencialização de articulações metropolitanas e novas centralidades.	
Macrozona 4 - Cidade da Transição	Deve manter suas características residenciais, com densificação controlada e valorização da paisagem.	
Macrozona 5 - Cidade Jardim	Caracteriza-se pela baixa densidade, pelo uso residencial predominantemente unifamiliar e elementos naturais integrados às edificações, com especial interesse na orla do Guaíba.	

Tabela 5:  
Macrozonas  
delimitadas no  
2º PDDUA de  
Porto Alegre.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

MACROZONA	DESCRIÇÃO	ESPACIALIZAÇÃO
Macrozona 6/10- Eixo Lomba- Restinga <sup>[1]</sup>	Potencial para ocupação residencial miscigenada, em especial para projetos de habitação de caráter social.	
Macrozona 7 - Restinga	Bairro residencial da Zona Sul cuja sustentabilidade tem base na implantação do Parque Industrial da Restinga.	
Macrozona 8 - Cidade Rururbana	Área caracterizada pela predominância de patrimônio natural, propiciando atividades de lazer e turismo, uso residencial e setor primário.	
Macrozona 9 - Unidades de conservação estaduais Parque Estadual Delta do Jacuí e Área de Proteção Ambiental Estadual Delta do Jacuí - APA.	Corresponde às áreas de interesse ambiental indicadas.	

[1] Macrozona revista em função da Operação Urbana Consorciada da Lomba do Pinheiro LEI COMPLEMENTAR Nº 630, DE 1º DE OUTUBRO DE 2009.

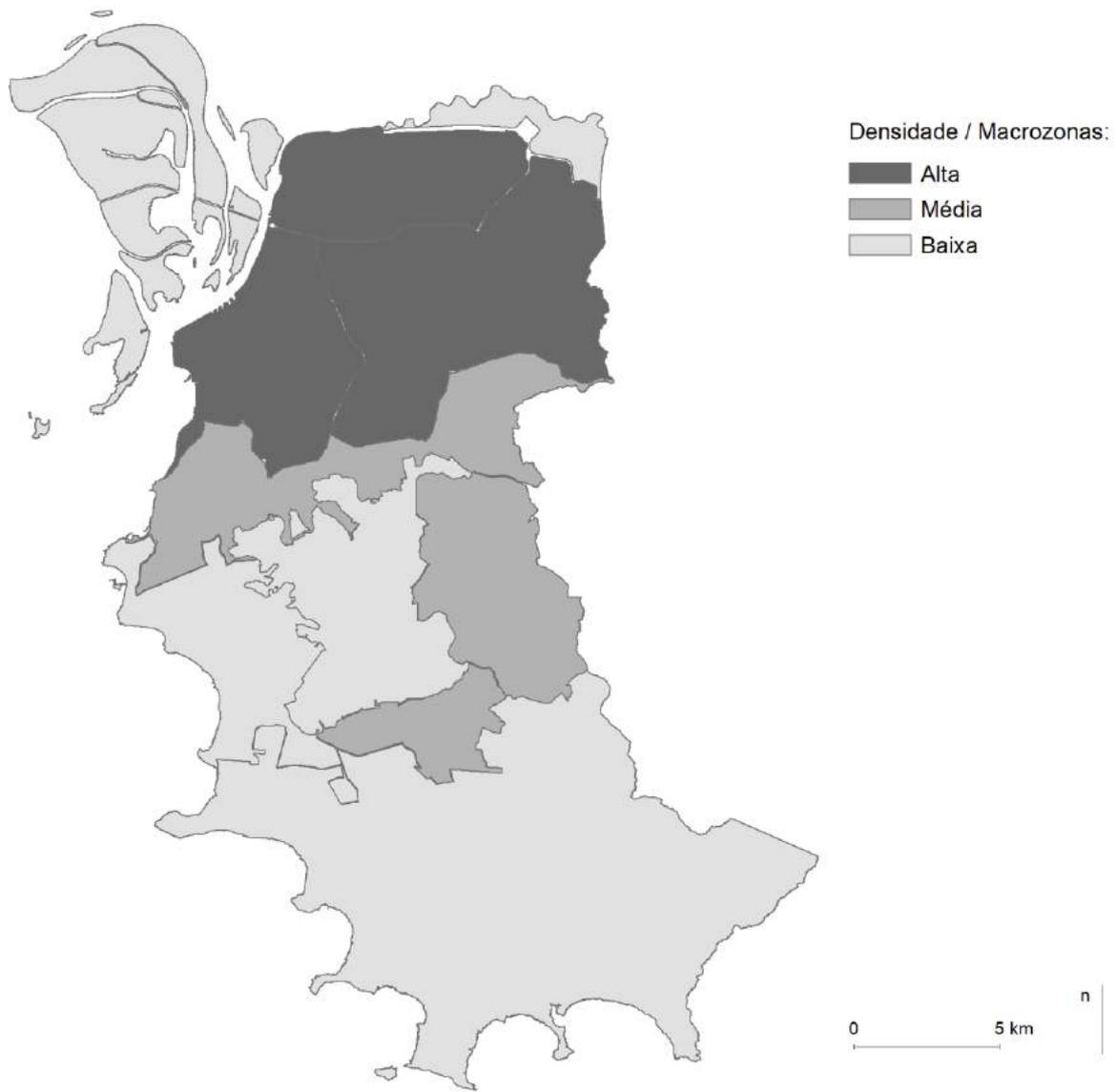


Figura 28:  
Densidade  
prevista por  
Macrozona de  
acordo com o  
2º PDDUA de  
Porto Alegre.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

## UEU

Atualmente, o território de Porto Alegre está desagregado em 262<sup>16</sup> UEUs que servem como unidades espaciais para cumprir 3 (três) funções básicas de acordo com as componentes do 2º PDDUA: (1) como módulo estruturador do Modelo Espacial – COMPONENTE ESTRATÉGICA; (2) para disciplinar a aplicação do regime urbanístico, desagregando-se em Subunidades de Estruturação Urbana quando necessário – COMPONENTE REGULADORA; e (3) para permitir o acompanhamento da dinâmica da cidade, possibilitando detectar mudanças de usos ou tendências – COMPONENTE DE GESTÃO E/OU MONITORAMENTO. Através das UEUs devem ser estabelecidas as condições para que variáveis funcionais e variáveis estéticas/sociais/culturais/econômicas possam ser compatibilizadas espacialmente para atingir o crescimento urbano sustentável presente na narrativa do 2º PDDUA<sup>17</sup>.<sup>18</sup>

De acordo com o enunciado do Art. 28 do 2º PDDUA, as UEUs, enquanto módulos estruturadores do Modelo Espacial definidos pela malha viária básica, são subdivididas em Subunidades de Estruturação Urbana ao englobarem regimes urbanísticos distintos.

---

<sup>16</sup> De acordo com arquivo digital disponibilizado pela Prefeitura Municipal de Porto Alegre online em: [http://www2.portoalegre.rs.gov.br/spm/default.php?p\\_secao=310](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/spm/default.php?p_secao=310)

<sup>17</sup> “Porto Alegre crescendo dentro de estratégias de desenvolvimento sustentável, harmonia com o meio ambiente e garantia de qualidade de vida para as futuras gerações”. (PORTO ALEGRE, 1999)

<sup>18</sup> É conhecido que diferentes valores de densidade urbana tem impacto direto sobre variáveis estéticas/sociais/culturais/econômicas: se altas densidades podem ser relacionadas à utilização mais eficiente da infraestrutura e serviços disponíveis, é inegável que espaços de interesse histórico-cultural, bem como a habitabilidade (insolação, iluminância e ventilação) das edificações são potencialmente ameaçados pelo aumento das densidades de ocupação do solo urbano.

## SUB-UEU

No Plano, a UEU pode ser dividida em Subunidades quando se fizer necessário absorver regimes urbanísticos distintos. Por Regime Urbanístico, entendem-se as métricas estabelecidas para: a densificação, o regime de atividades, dispositivos de controle das edificações e parcelamento do solo. Nas SUBUEUs são definidos parâmetros para as Densidades Brutas, Índices de Aproveitamento (IA) e Quota Ideal (QI). Os parâmetros podem ser classificados de acordo com a entidade controlada: Densidades Brutas são estabelecidas no intuito de estabelecer valores referência para a população máxima de residentes e trabalhadores; ao passo que IAs e QIs são definidos como parâmetros de controle da área construída.

Com relação ao controle da população, o plano apresenta as seguintes métricas:

- Densidades Brutas: valores máximos de densidade estabelecidos para as áreas de ocupação intensiva, rarefeita e de transição (intensiva/rarefeita), classificados em solo privado, solo criado e total:
  - Habitantes por hectare (hab./ha):  
número de habitantes por hectare, incluindo moradores e empregados,
  - Economias por hectare (eco./ha):  
número de economias por hectare.

A Figura abaixo ilustra a distribuição das densidades previstas para Porto Alegre de acordo com a divisão do território em área de ocupação rarefeita e área de ocupação intensiva:

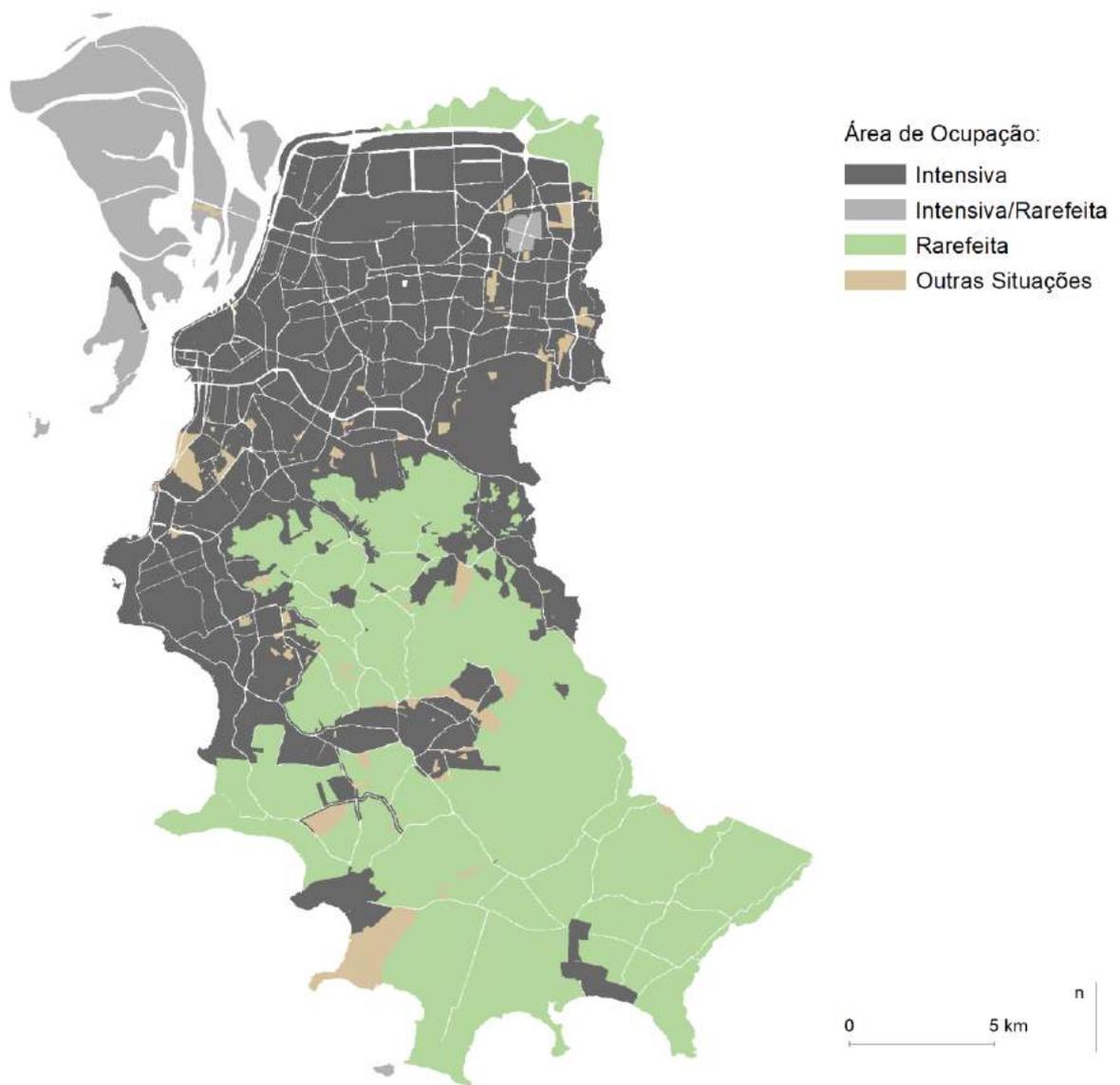
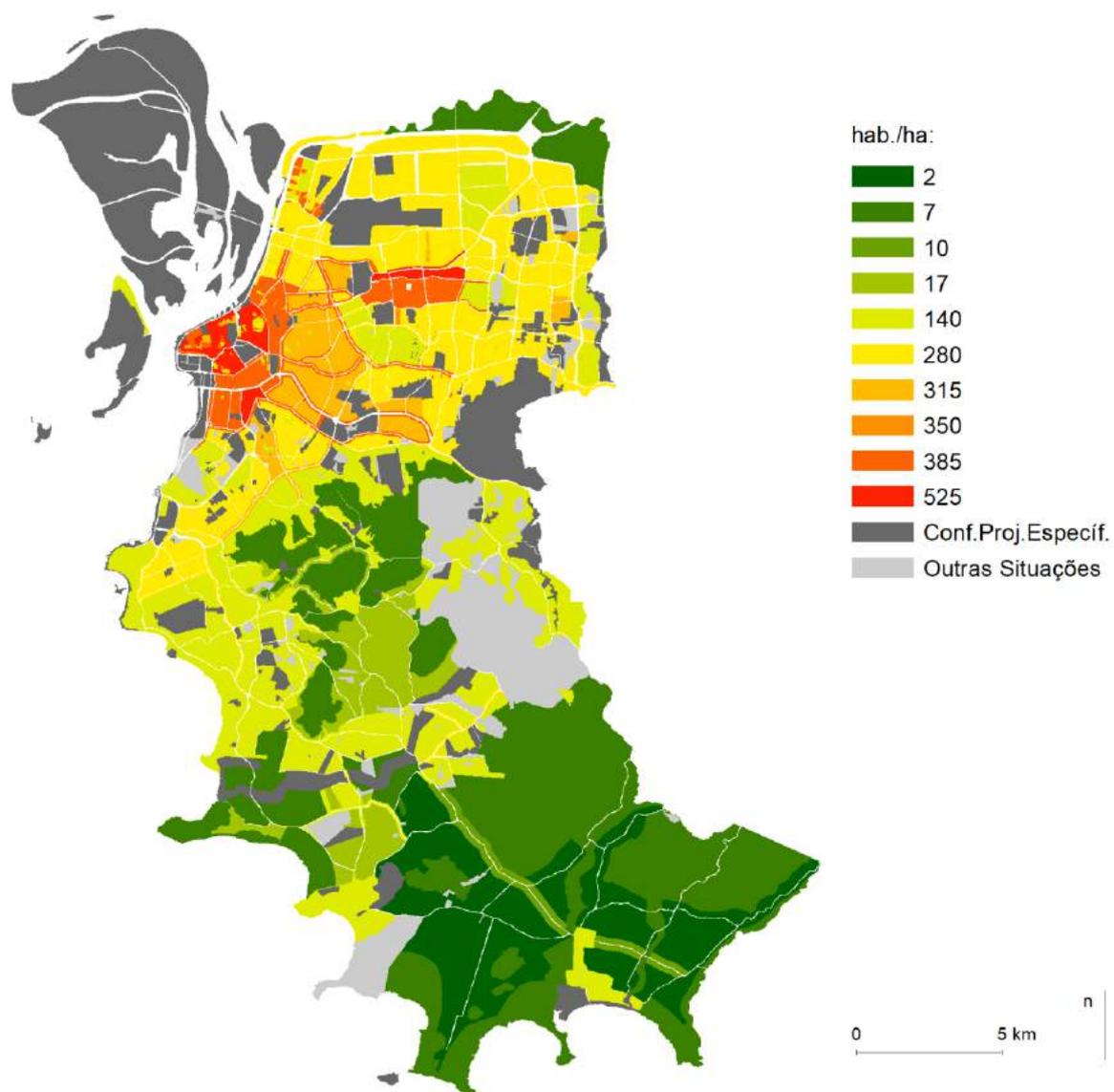


Figura 29:  
Intensidade de  
ocupação do  
solo de acordo  
com o 2º  
PDDUA de  
Porto Alegre.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

Utilizando a classificação de densidade máxima de habitantes por hectare prevista segundo o código por SUBUEU, sem a previsão de Solo Criado, a espacialização dos valores resulta no mapa apresentado abaixo:



*Figura 30:  
Densidade  
populacional  
(moradores +  
empreg.) de  
acordo com o  
2º PDDUA.*

*Fonte:  
Elaborada  
pela autora.*

Apesar de especificada em valores máximos de habitantes por hectares em cada SUBUEU, a densidade é regulamentada, na prática, pelo índice de aproveitamento, conforme previsto no Art. 106 do 2º PDDUA:

*“Art. 106. Índice de Aproveitamento é o instrumento de controle urbanístico, no lote, das densidades populacionais previstas para as Unidades de Estruturação Urbana.” (PORTO ALEGRE, 1999)*

Com relação ao Anexo 6 onde estão relacionados os parâmetros para regulamentar o potencial construtivo de lotes urbanos, o PDDUA estabelece as seguintes métricas:

- Índice de Aproveitamento (IA): fator que multiplicado pela área do lote resulta a área construída máxima para determinado lote urbano<sup>19</sup>;
- Solo Criado (SC): permissão onerosa do Poder Público ao empreendedor para fins de edificação em Área de Ocupação Intensiva a partir de estoques construtivos públicos;
- Transferência de Potencial Construtivo (TPC): possibilidade do Município de transferir o direito correspondente à capacidade construtiva das áreas vinculadas ao sistema viário projetado, à instalação dos equipamentos públicos, bem como à preservação de bens tombados, como forma de pagamento em desapropriação ou outra forma de aquisição;
- Índice de Aproveitamento Máximo (IAmax): índice de aproveitamento máximo aplicável conforme estabelecido nos limites indicados por SUBUEU para Solo Criado Adensável (SC) e Transferência de Potencial Construtivo (TPC), respeitando o ESTOQUE MÁXIMO DE TPC E SC POR QUARTEIRÃO;

---

<sup>19</sup> Em Porto Alegre o IA estabelece o potencial construtivo máximo correspondente às ÁREAS ADENSÁVEIS. Para a construção sobre lotes urbanos podem ainda ser adicionadas no cômputo as ÁREAS NÃO ADENSÁVEIS - no máximo de 50% da área adensável exceto no caso de aquisição, e ISENTAS - aquelas destinadas à guarda e circulação de veículos e outras situações previstas no Art. 8º do Plano. (PORTO ALEGRE, 1999)

- Quota Ideal (QI): fração mínima de terreno por economia edificada.

Para fins de cômputo, a área construída da edificação é classificada em:

- Área adensável: área residencial, comercial, de serviço ou industrial, integrante das unidades privativas;
- Área não adensável: áreas de apoio à edificação – reservatórios, casas de bombas, casas de máquinas de elevadores, áreas para depósito de lixo, transformadores, dentre outros, e de uso comum – portarias, circulações, acessos, zeladorias, áreas de lazer, áreas de esporte e serviços;
- Área isenta: áreas reservadas para guarda de veículos – bem como aquelas reservadas para sua circulação (horizontal e vertical), residências unifamiliares, preservação de patrimônio cultural e guarda de bicicletas.

Os mapas a seguir ilustram a distribuição espacial dos valores de IA básico e IA máximo previstos por SUBUEU no território de Porto Alegre:

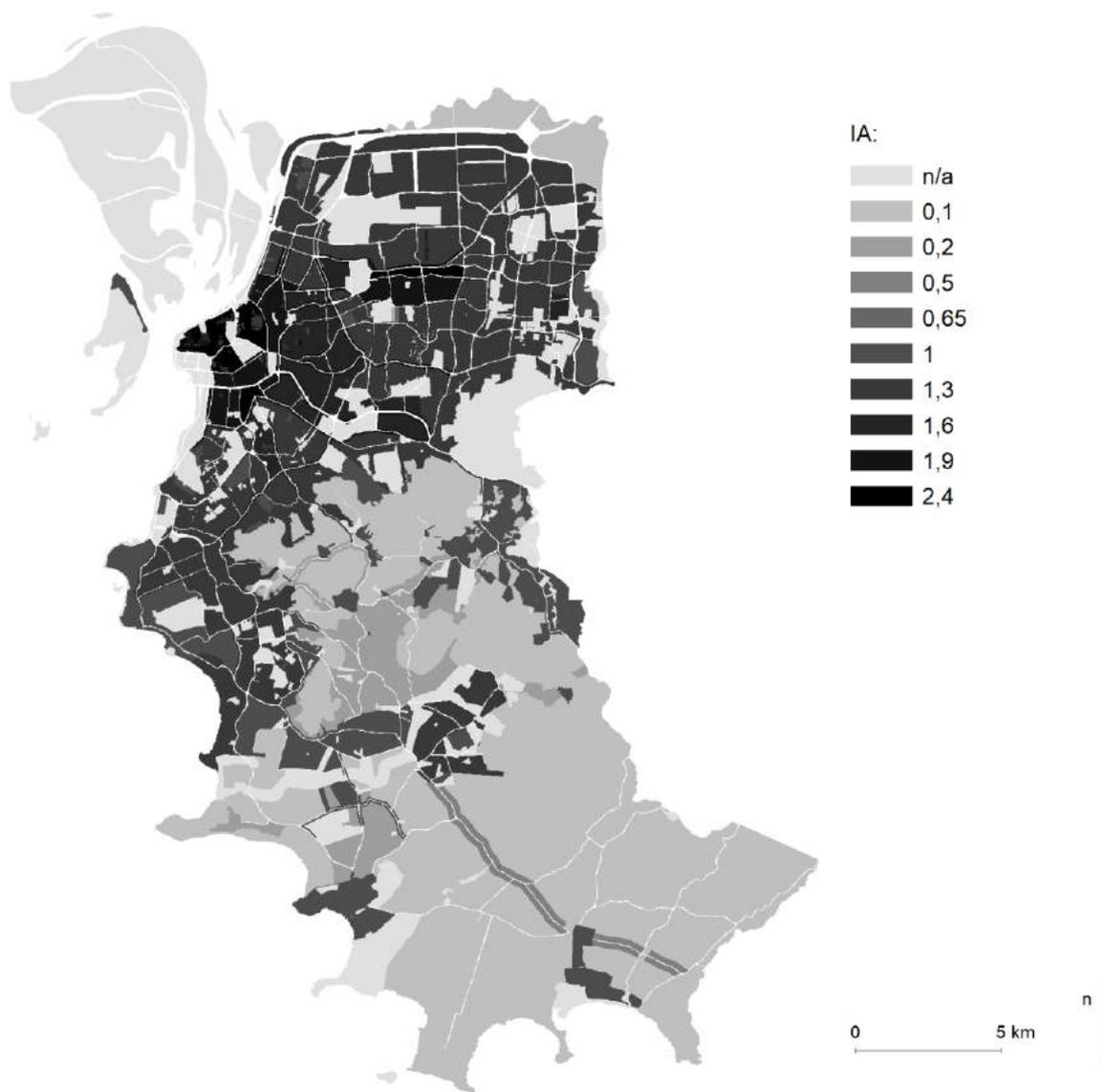


Figura 31:  
Índice de  
Aproveitament  
o por SUBUEU  
de acordo com  
o 2º PDDUA  
de Porto  
Alegre.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

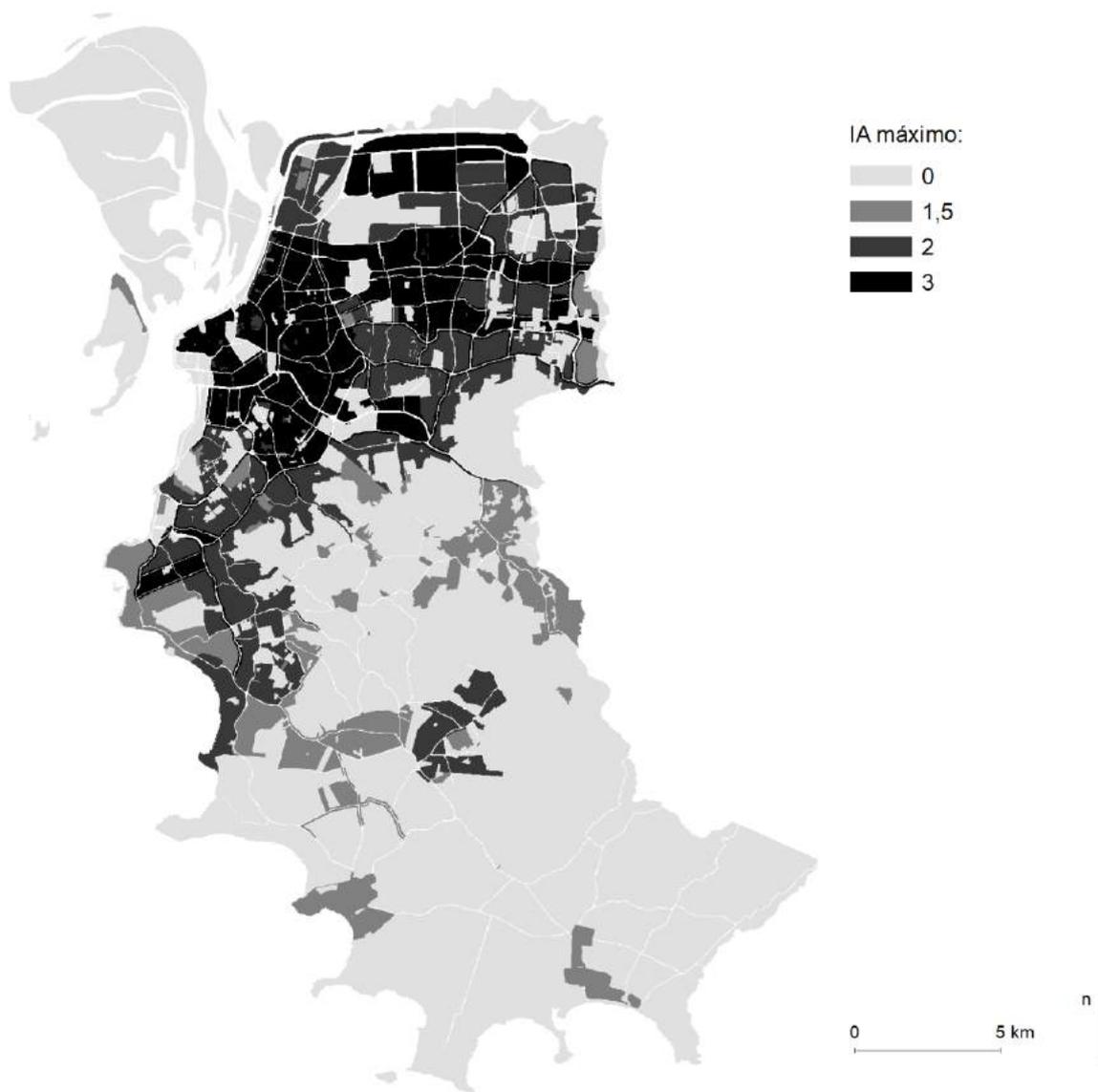


Figura 32:  
Índice de  
Aproveitament  
o Máximo por  
SUBUEU de  
acordo com o  
2º PDDUA de  
Porto Alegre.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

Os valores indicados para IA máximo podem ser alcançados apenas se houverem estoques disponíveis para venda, o que nos leva a próxima escala de agregação.

## QUARTEIRÃO

Os valores de Solo Criado (SC) e de Transferência de Potencial Construtivo (TPC) atualizados são disponibilizados, exclusivamente na escala do quarteirão, sendo o estoque por quarteirão a única forma de monitoramento do potencial construtivo utilizada em Porto Alegre. Valores de referência da disponibilidade de Estoque de SC/TPC por quarteirão são disponibilizados periodicamente pela administração municipal de acordo com os estoques executados. O Plano Diretor de Porto Alegre estabelece 4 (quatro) tipos de SC para o adensamento do território:

- Solo Criado de Pequeno Adensamento: correspondendo a áreas adensáveis em quantidades que não causam impacto significativo nos equipamentos e na paisagem urbana, disponíveis em todas as UEUs, no máximo de 300 m<sup>2</sup> por empreendimento;
- Solo Criado de Médio Adensamento: correspondendo a áreas adensáveis em quantidades que causam baixo impacto nos equipamentos e na paisagem urbana, sendo disponíveis nas UEUs e nos quarteirões liberados para adensamento pelo sistema de monitoramento da densificação, a partir de 300 m<sup>2</sup> até 1.000 m<sup>2</sup>, no limite de 30% da área adensável do empreendimento;
- Solo Criado de Grande Adensamento: correspondendo a áreas adensáveis que podem causar impacto nos equipamentos e na paisagem urbana, sendo disponíveis nas UEUs e nos quarteirões

liberados para adensamento pelo sistema de monitoramento da densificação, dependente de aprovação de Estudo de Viabilidade Urbanística – EVU – para verificação dos impactos na infraestrutura e paisagem urbana, a partir de 1.000 m<sup>2</sup> até o limite estabelecido na UEU;

- Solo Criado Não Adensável: correspondendo a áreas incentivadas e complementares à atividade principal, que não causam impacto nos equipamentos urbanos e na paisagem e estão disponíveis em todas as UEUs com aquisição direta.

O mapa abaixo ilustra a disponibilidade de Estoques construtivos por quarteirão em Porto Alegre de acordo com a Listagem 011/2019<sup>20</sup>. Em sequência, as Figuras apresentam os valores de estoque disponíveis por UEU e por MZ.

---

<sup>20</sup> Listagem 011/2019: publicada no Diário Oficial de Porto Alegre em 03/05/2019. Disponível online em: <[http://www2.portoalegre.rs.gov.br/edificapoa/default.php?p\\_secao=1445](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/edificapoa/default.php?p_secao=1445)>.

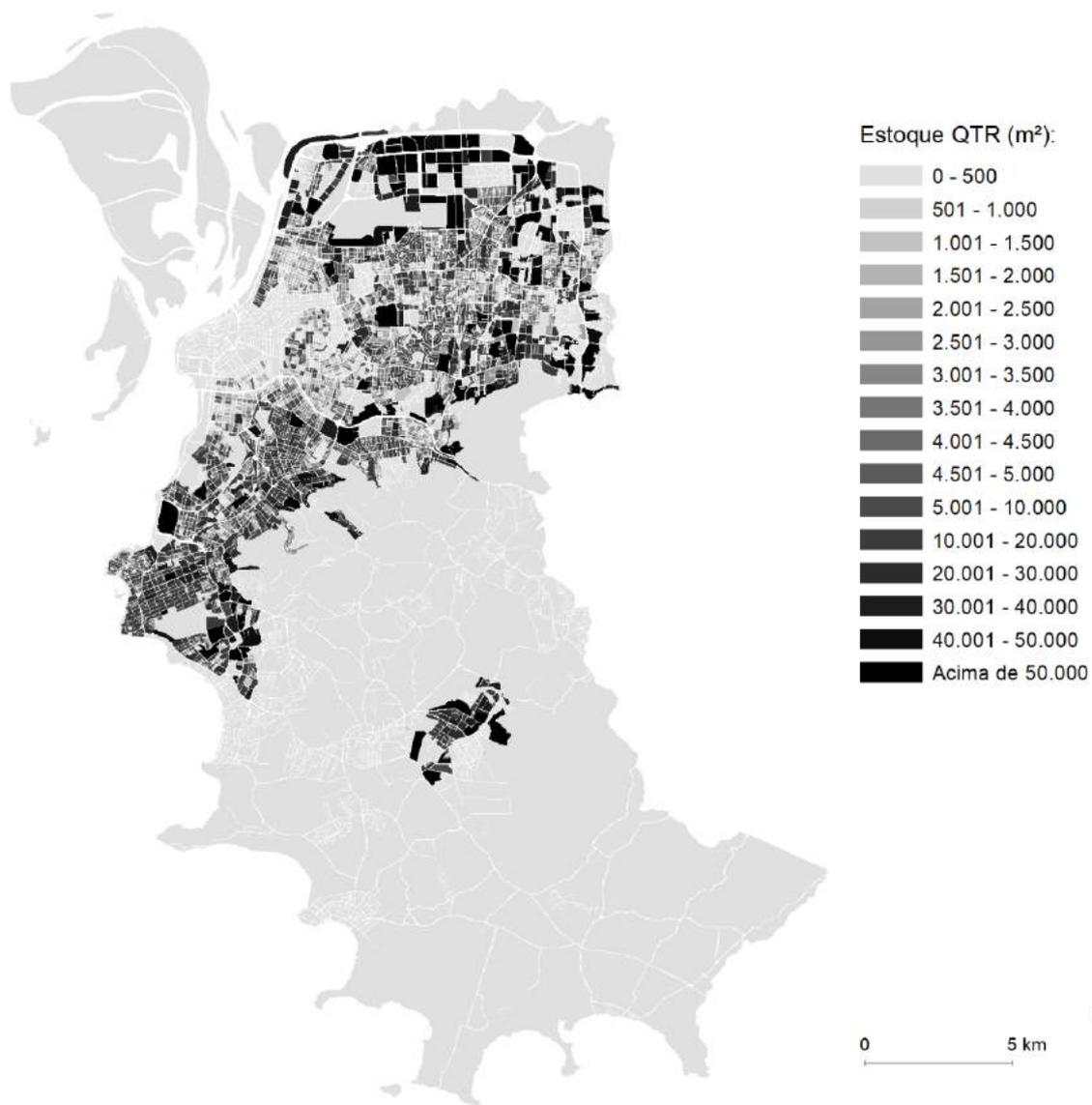


Figura 33:  
 Estoques  
 construtivos  
 por bairro  
 em Porto  
 Alegre,  
 Listagem  
 011/2019.

Fonte:  
 Elaborada  
 pela autora.

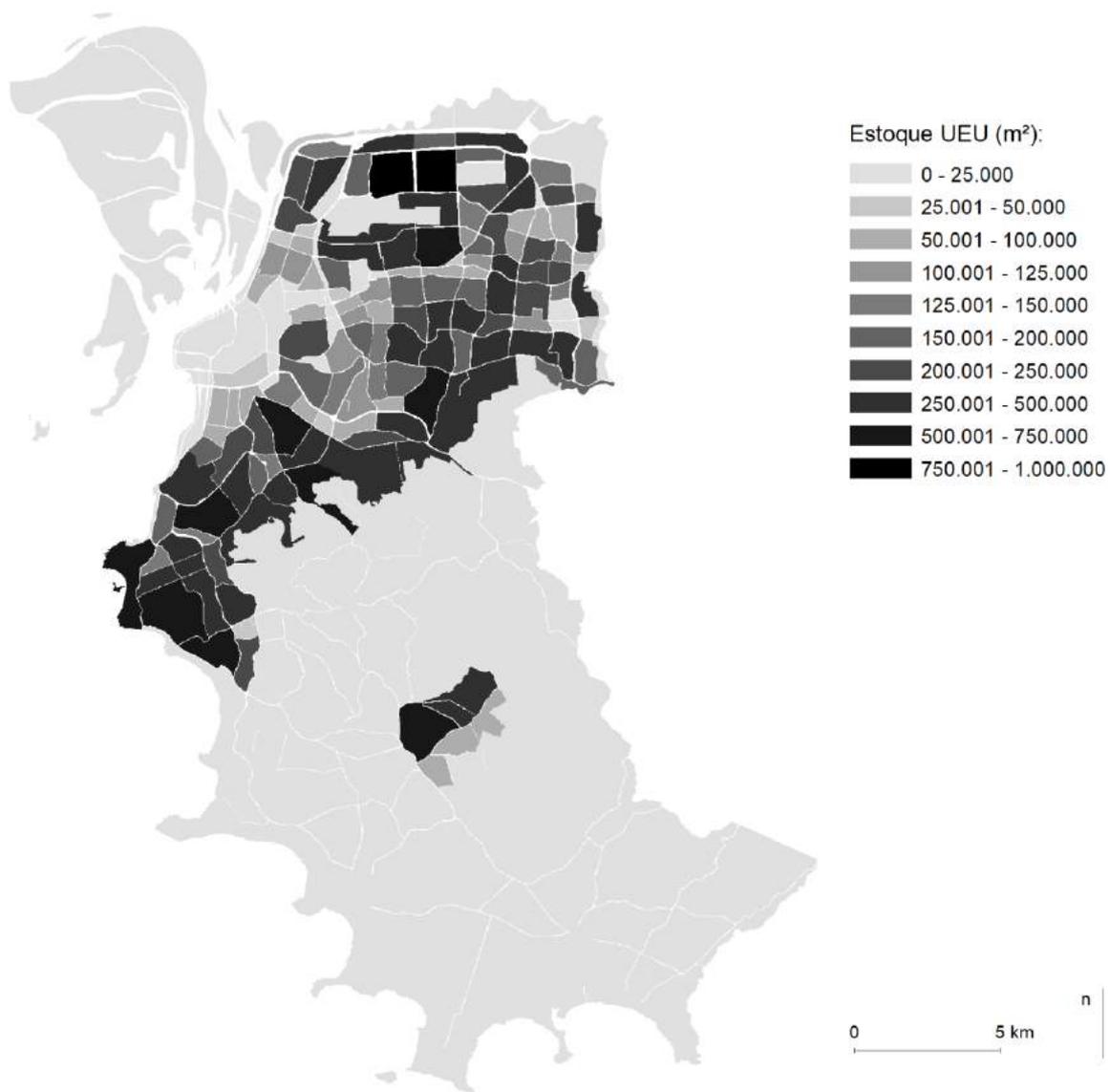


Figura 34:  
Estoque  
construtivo  
por UEU em  
Porto Alegre,  
Listagem  
011/2019.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

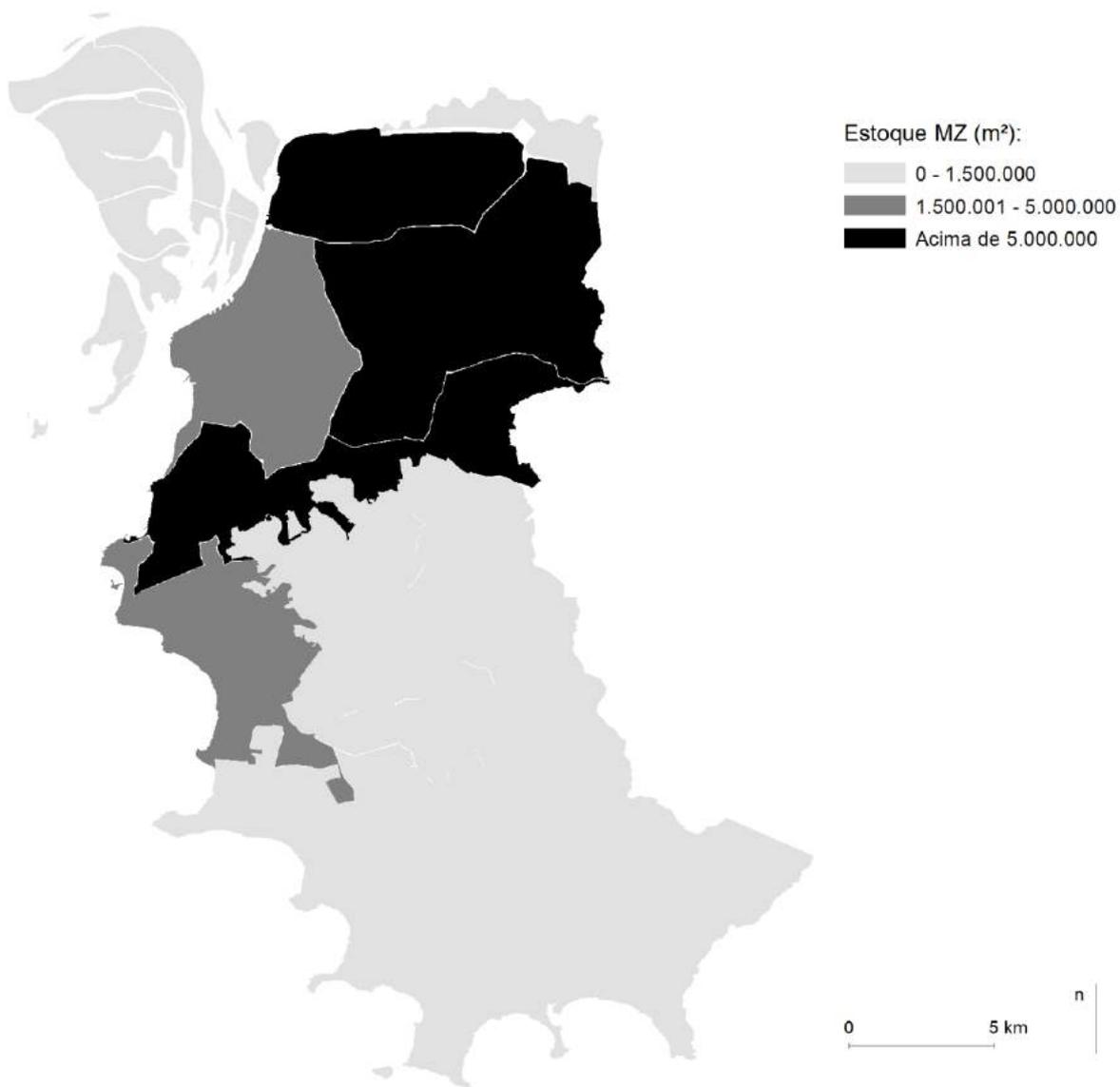


Figura 35:  
Estoques  
construtivos  
por MZ em  
Porto Alegre,  
Listagem  
011/2019.

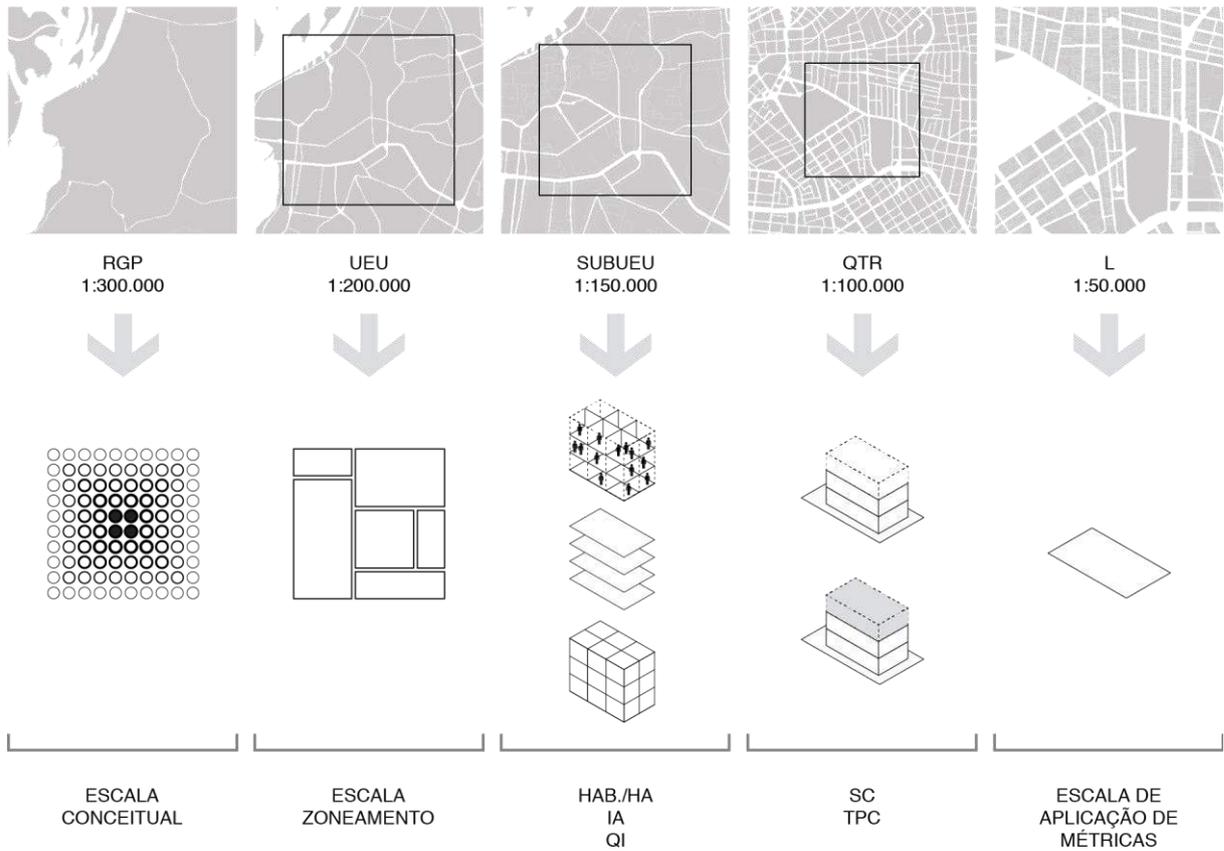
Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

## LOTE

O lote abriga as métricas do regime urbanístico, definidas na escala da SUBUEU, que consolidam o potencial construtivo do terreno. A realização deste potencial irá depender da disponibilidade de SC e TPC para aquisição no quarteirão e das métricas associadas às dimensões dos lotes urbanos e restrições aplicadas ao território em diferentes escalas: nem sempre o potencial construtivo previsto para determinado lote urbano pode ser executado integralmente. Restrições de ordem ambiental, incidência de edificações de interesse histórico-cultural, limitações de altura pela proximidade com a área de operação do aeroporto são alguns dos elementos que podem reduzir significativamente o potencial construtivo de lotes urbanos.

O diagrama abaixo apresenta a síntese da previsão do tema densidade no 2º PDDUA, relacionando a dimensão conceitual do Plano e sua aplicação espacial nas diferentes escalas de agregação.

ESCALAS VINCULADAS ÀS MEDIDAS DE CONTROLE DA DENSIDADE NO PDDUA



DISPOSITIVOS PARA CONTROLE DA DENSIDADE APLICADOS

Figura 36:  
Densidade  
Urbana na  
estrutura do 2º  
PDDUA.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

Apesar de estabelecer valores específicos de densidade em cada escala, o Plano inclui a possibilidade de revisão da distribuição destes valores, desde que respeitados os máximos estabelecidos por Macrozona:

*“Art. 69 - Em Projetos Especiais de Impacto Urbano de Realização Necessária, poderá ser aplicado estoque de índices adensáveis maior do que o da respectiva UEU, desde que o empreendimento seja precedido de avaliação de impacto e que o montante seja descontado do estoque da Macrozona, não ultrapassando o disposto no Anexo 6 desta Lei Complementar. (Redação do artigo 69 modificada pela L.C. n° 646, de 22 de julho de 2010.)” (PORTO ALEGRE, 1999)*

Os conceitos definidos pelo Plano para o controle da densidade apresentados se restringem a regulamentação bidimensional do espaço urbano, estabelecendo valores referência a serem aplicados por SUBUEU. Entretanto, a análise da materialização da densidade no espaço urbano envolve a descrição de elementos tridimensionais (BERGHAUSER PONT E HAUPT, 2009). Diferentes tipologias edilícias, com diferentes desempenhos face a questões ambientais, podem acomodar os requisitos estabelecidos para densificação de determinada área urbana. A configuração destas diferentes tipologias é dada por medidas específicas de controle da forma edificada.

Em Porto Alegre, o controle da forma edificada, dado pelos condicionantes volumétricos, tem seus parâmetros apresentados parte no Anexo 7 – Regime Volumétrico, parte em artigos específicos do plano, que definem as seguintes medidas básicas:

- Altura: distância vertical entre a referência de nível<sup>21</sup> da edificação e o nível correspondente à parte inferior da laje ou similar do último pavimento da estrutura considerada, classificada em:
  - Máxima: dimensão vertical tomada da referência de nível até o último pavimento da edificação;
  - Divisa: altura máxima permitida para construção de edificação na divisa;
- Base: altura máxima para construção de base, de acordo com a definição de elementos morfológicos da edificação;
- Taxa de Ocupação: percentual do terreno que pode ser ocupado pela projeção da edificação;
- Recuos: afastamentos obrigatórios para a construção de edificações a partir dos limites do lote, podem ser de frente, lateral, fundos ou de ajardinamento;
- Área Livre Permeável (ALP): parcela de terreno mantida sem acréscimo de qualquer pavimentação ou elementos construtivos impermeáveis, devendo ser vegetada, não podendo estar sob a projeção da edificação ou sobre o subsolo.

Os parâmetros previstos no Regime Volumétrico estabelecem 4 (quatro) elementos morfológicos fundamentais das edificações, conforme previsto no Art. 105 do PDDUA:

---

<sup>21</sup> Nível adotado em projeto para determinação da volumetria máxima da edificação ou de trecho dessa.

“Art. 105 - Os elementos morfológicos fundamentais das edificações são (fig. 12):

I. Base - volume de altura contado a partir da Referência de Nível (RN) até o corpo da edificação;

II. Corpo - volume de altura e projeção variáveis, destinado a abrigar principalmente as unidades;

III. Volume Superior - volume variável acima do forro do último pavimento do corpo, destinado a abrigar áreas de equipamentos;

IV. Subsolo – volume de altura e projeções variáveis, situado abaixo da RN do terreno, e com nível de piso no mínimo a 2,20m (dois vírgula vinte metros) da RN. (Redação do inc. IV modificada pela L.C. n° 646, de 22 de julho de 2010).” (PORTO ALEGRE, 1999)

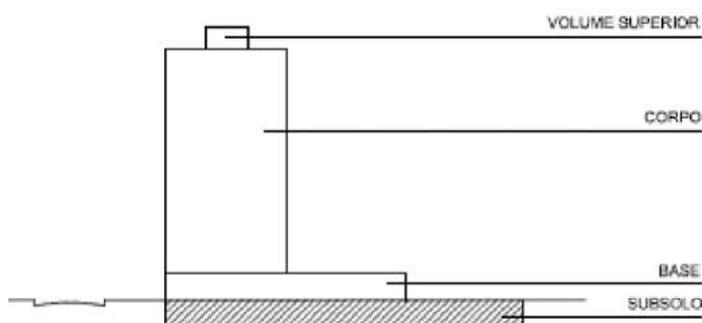


Figura 37:  
Elementos  
morfológicos  
fundamentais  
das  
edificações.

Fonte:  
PORTO  
ALEGRE,  
1999.

Para o esgotamento do potencial construtivo máximo, a aplicação dos parâmetros que regulam as métricas de composição dos elementos morfológicos fundamentais resulta em três modelos tipológicos básicos para a ocupação máxima de lotes urbanos em Porto Alegre: (1) a edificação junto à divisa; e (2) o corpo isolado no lote; e (3) o corpo acompanhado de base. A realização dos parâmetros demográficos previstos no Plano passa, portanto, pela ocupação do território através de um destes modelos tipológicos. Enquanto o modelo isolado no lote está previsto em todo o território municipal, os modelos previstos em (1) e (3) estão previstos para as SUBUEUs apresentadas nas Figuras a seguir:

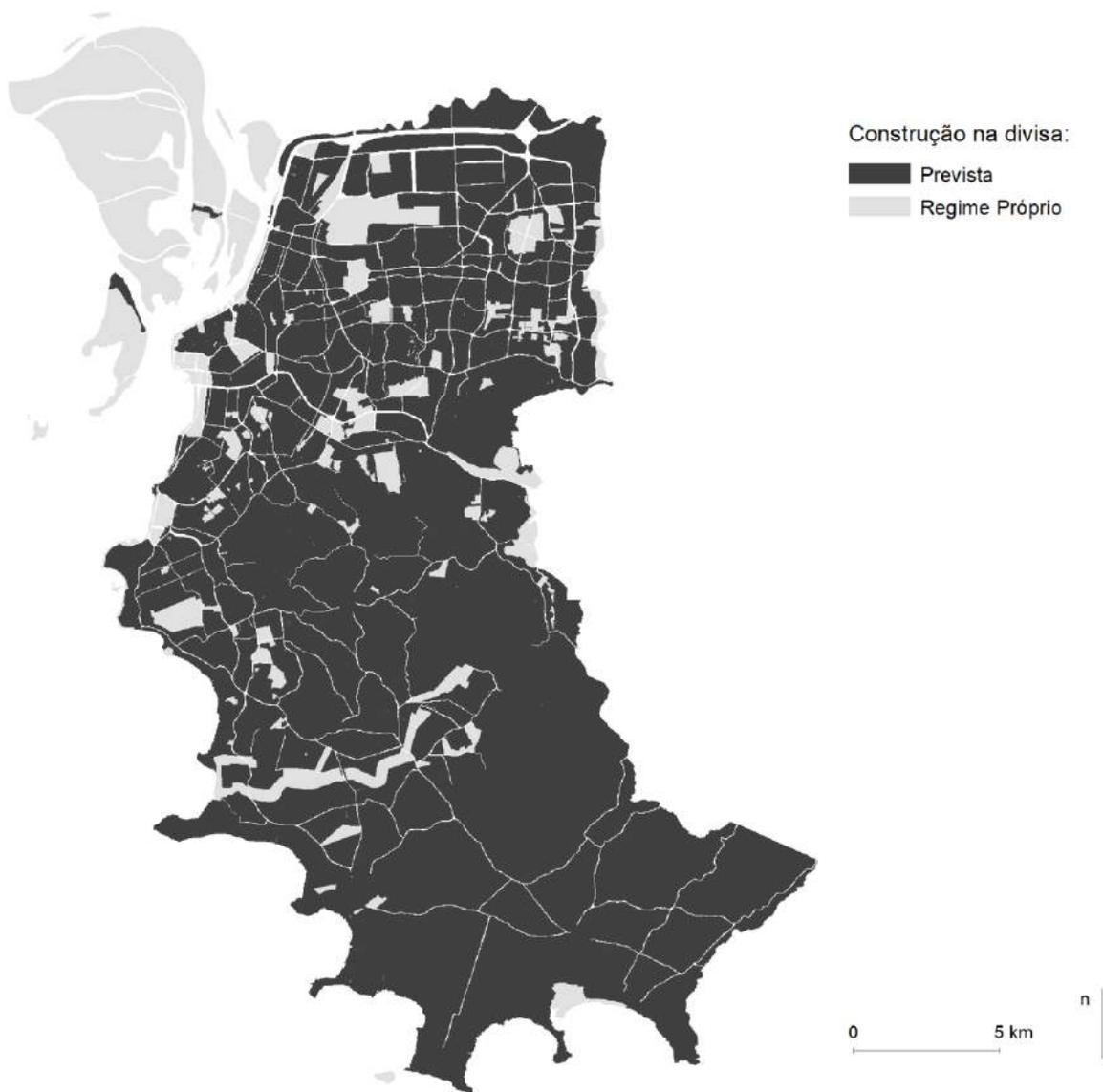
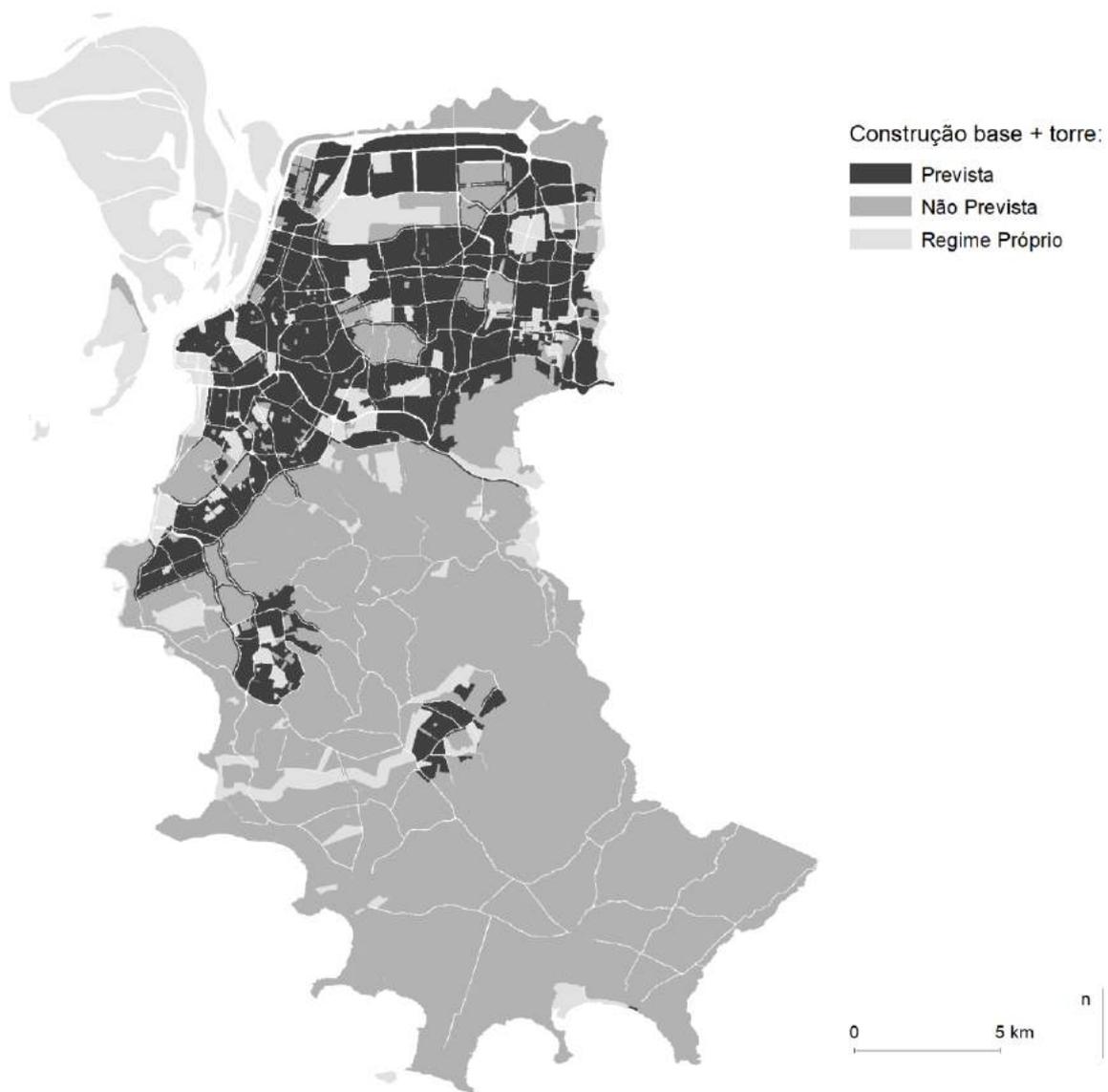


Figura 38:  
SUBUEUs  
classificadas  
de acordo com  
a previsão de  
construções do  
tipo  
morfológico  
(1) edificação  
junto à divisa.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



*Figura 39:  
SUBUEUs  
classificadas  
de acordo com  
o tipo  
morfológico  
(3) base e  
torre.*

*Fonte:  
Elaborada  
pela autora.*

A Figura abaixo apresenta as subunidades de estruturação urbana em que é possível tanto a construção na divisa quanto a construção de edificações do tipo torre, acompanhada ou não de base.

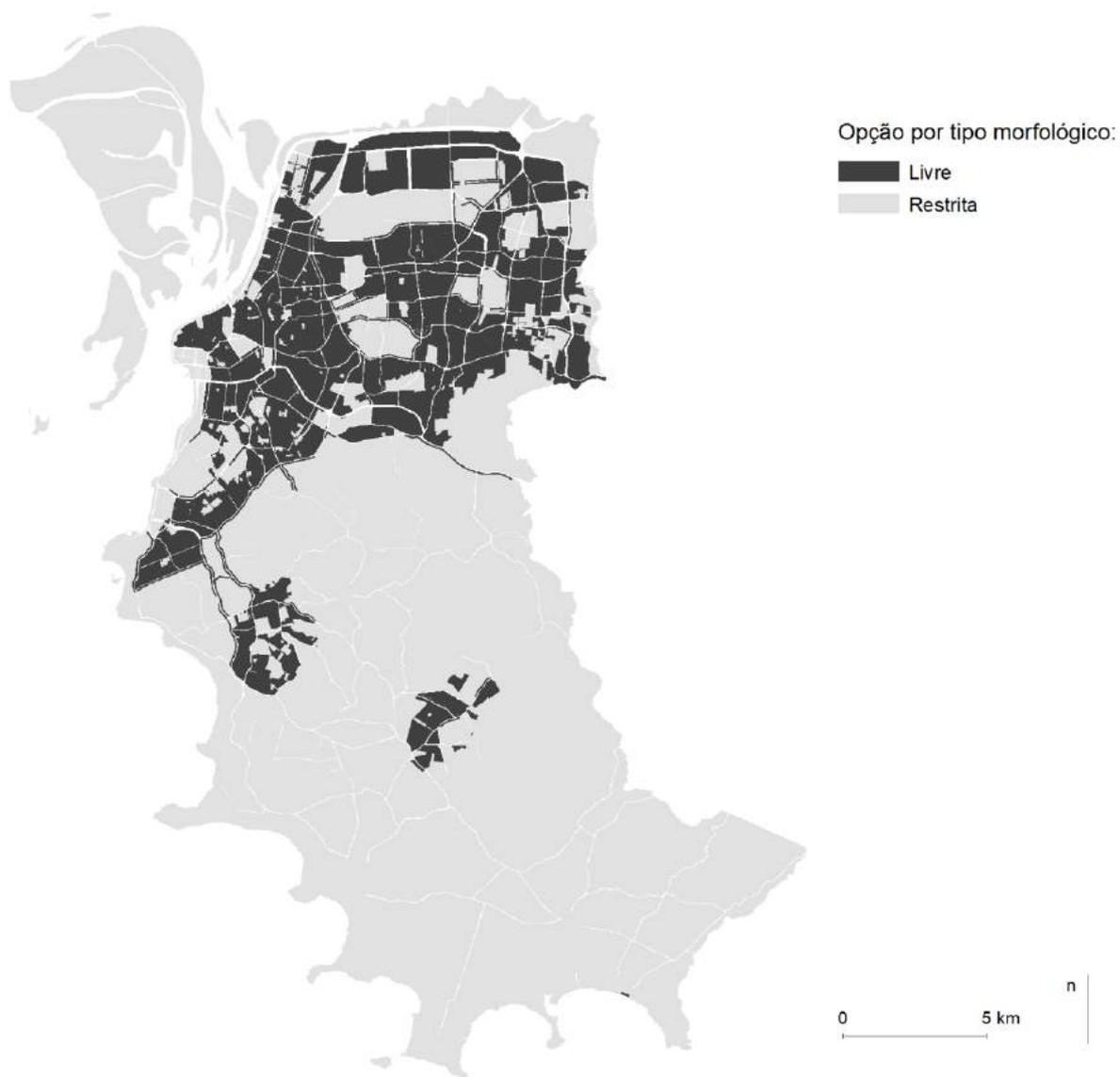


Figura 40:  
SUBUEUs em  
que é possível  
a opção por  
qualquer dos  
modelos  
tipológicos  
previstos no  
PDDUA.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

Turkienicz et al (1994), em “Indicações Estratégicas para Adensamento Urbano de Porto Alegre” verificaram inconsistências entre os parâmetros volumétricos e os parâmetros de ocupação demográfica previstos pelo Sistema de Planejamento, ou seja, com os parâmetros que regulamentam a densidade urbana. Dificuldades para a ocupação plena do potencial construtivo poderiam desestimular a ocupação de lotes disponíveis provocando tanto a ociosidade da infraestrutura instalada quanto o aumento nos custos de manutenção desta infraestrutura. Anzolch (1995), em “Códigos da Forma Urbana: Modelos de Forma Construída”, salientou as limitações do 1º PDDU relacionadas à volumetria das edificações. Através um ábaco correlacionou a testada do lote com o potencial construtivo dos terrenos demonstrando que as normativas urbanísticas então vigentes (recuos, afastamentos e alturas máximas) não viabilizavam a execução do potencial construtivo previsto para significativo número de terrenos analisados. A principal razão desta relação intrínseca entre a testada do lote e a expressão volumétrica do regime urbanístico é a aplicação de recuos proporcionais à altura que decretam a realização da construção em altura apenas em lotes que possuem uma dimensão  $>x$  de testada. Apesar de utilizarem como objeto de estudo o 1º PDDU, as constatações dos autores se aplicam ao atual Plano. Ou seja, se por um lado o Plano estabelece densidades máximas que deveriam ser alcançadas para garantir a eficiência na distribuição de equipamentos e serviços, por outro estabelece regras de volumetria para ocupação de lotes que, muitas vezes, impossibilitam a execução desta densidade.

O impacto das métricas definidas para o controle tridimensional das edificações em Porto Alegre na densidade pode ser avaliado a partir das escalas de agregação propostas pelo Plano em sua Dimensão Espacial, adicionando a escala da edificação ao conjunto. As diferentes escalas não representam apenas diferentes níveis de resolução de acesso à estrutura de dados urbanos, mas também guardam uma relação de hierarquia entre si: a edificação está contida no lote; o lote está contido no quarteirão; o quarteirão está contido na SUBUEU; a SUBUEU está contida

na UEU; a UEU está contida na Macrozona; a Macrozona está contida na Região de Planejamento; e, finalmente, a Região de Planejamento está contida na cidade<sup>22</sup>.

A visualização dos parâmetros de controle da densidade, tanto o controle de valores referência quanto da forma edificada, pode ser relacionado com as diferentes escalas de agregação de acordo com a estruturação apresentada na Tabela 6.

No quadro apresentado, é possível verificar a importância das dimensões do lote para a configuração do volume resultante da quadra: uma vez que as dimensões dos lotes podem apresentar considerável variação num mesmo quarteirão, a volumetria da quadra refletirá tal variação, conforme ilustrado na Figura 42.

---

<sup>22</sup>Considerando a inserção das cidades dentro de um contexto regional, poderíamos ainda avançar sobre a inserção da cidade dentro da RMPA; da RMPA dentro do RS; do RS dentro das Regiões do BR, e assim por diante.

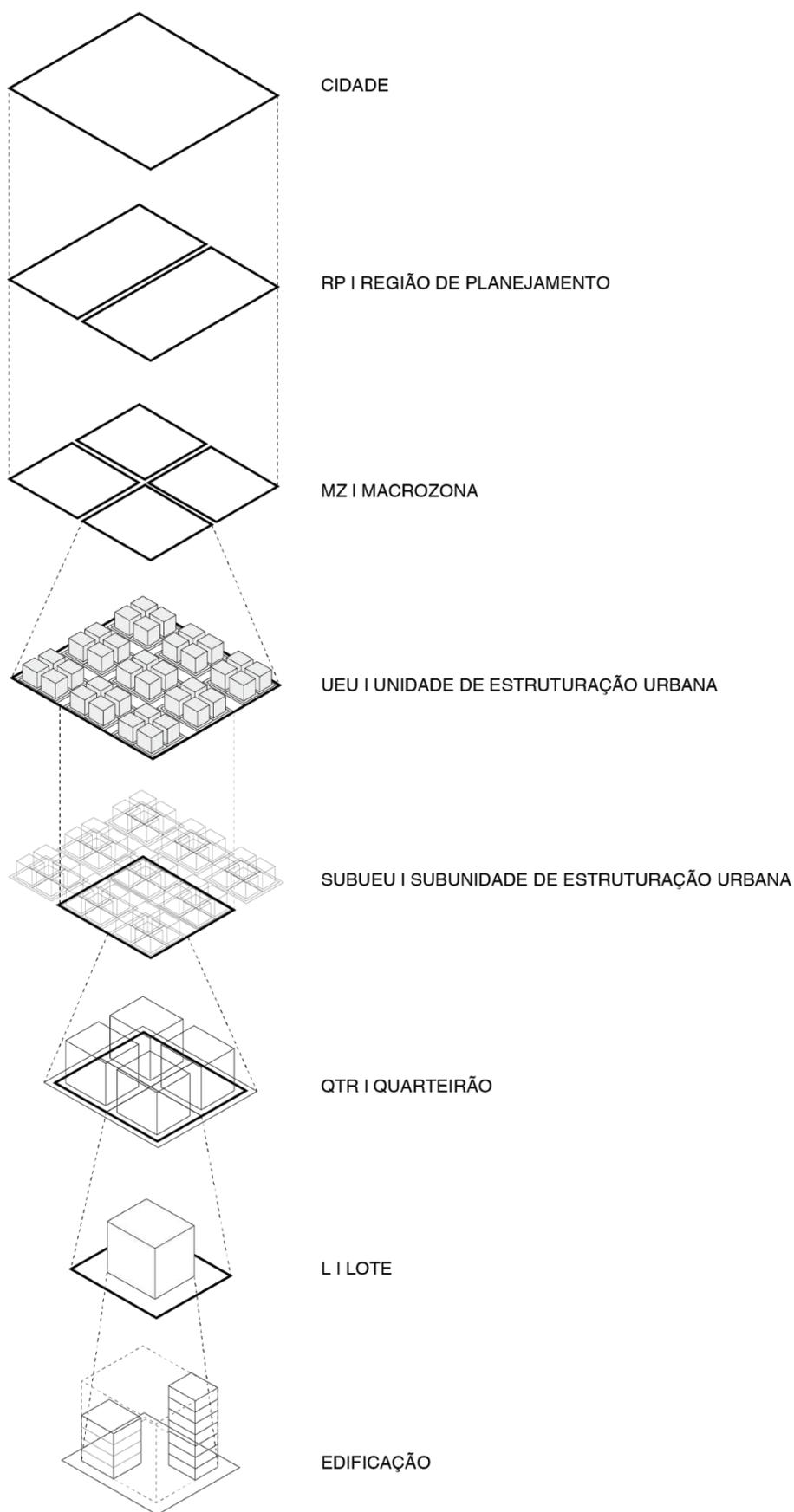
DENSIDADE		ESCALA DE AGREGAÇÃO / HIERARQUIA DE OBJETOS URBANOS								
		CIDADE	REGIÃO	MZ	UEU	SUBUEU	QTR	LOTE	EDIFÍCIO	EIXO
VALORES DE REFERÊNCIA	Solo Privado	hab./ha								
		econ./ha								
	Solo Criado	hab./ha								
		econ./ha								
	Total	hab./ha								
		econ./ha								
	Índices de Aproveitamento	IA								
		SC								
		TPC								
		I <sub>Amax</sub>								
QI										
CONTROLE DA FORMA EDIFICADA	Regime Volumétrico	TO								
		H <sub>max</sub> <sup>***</sup>								
		H <sub>div</sub> <sup>***</sup>								
		H <sub>base</sub> <sup>***</sup>								
		Recuo de altura <sup>***</sup>								
		ALP								
	Recuo ajardinamento*									
<p>* Recuo de ajardinamento definido com três padrões: (1) área de ocupação intensiva; (2) área de ocupação rarefeita; e (3) eixos isentos. (1) e (2) definido por UEU e (3) definido por eixo viário.</p> <p>** Eixos representam objetos urbanos fora da hierarquia de dados, mas que constam por serem utilizados no PDDUA.</p> <p>*** Apesar de não estar nomeadamente associada ao lote, entende-se que na aplicação dos parâmetros a geometria do lote influencia diretamente sobre as medidas resultantes.</p>										
Limite para a aplicação da métrica na cidade.										
Regra aplicada conforme relação métrica com o objeto urbano.										

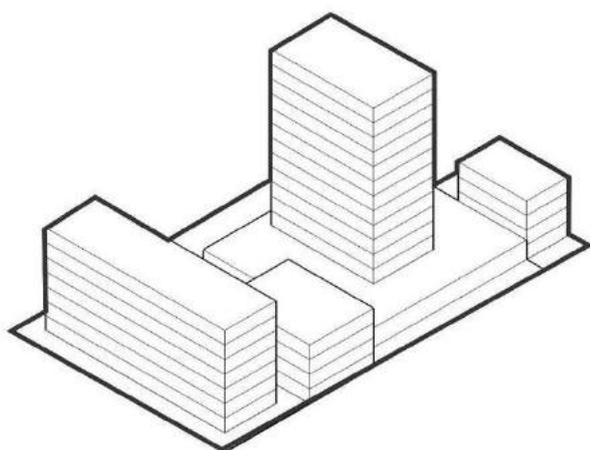
Tabela 6:  
Escala de agregação e parâmetros de controle da densidade no PDDUA.

Fonte:  
Elaborada pela autora.

Figura 41:  
Escala de agregação de  
objetos  
urbanos  
previstas no  
PDDUA.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.





*Figura 42:  
Variação da  
forma  
resultante da  
aplicação das  
regras  
previstas no  
PDDUA em  
lotes com  
diferentes  
dimensões de  
testada.*

*Fonte:  
Elaborada  
pela autora.*

A uniformidade de regras, traduzida em parâmetros equivalentes para alturas máximas, índices construtivos, taxas de ocupação e recuos poderá, potencialmente, resultar em grande variação na forma das edificações dependendo da configuração dos lotes urbanos. Se por um lado o sistema normativo se estrutura a partir de regras homogêneas aplicadas em diferentes lotes de um mesmo quarteirão, por outro lado o resultado da aplicação destas regras leva a formas edificadas não só diferentes, mas com grande disparidade, num mesmo quarteirão, no que tange ao desempenho ambiental. Revela-se um paradoxo: regras semelhantes que, ao invés de garantir um desempenho homogêneo das construções resultantes, geram diferentes níveis de performance. O 2º PDDUA correlacionou regras de controle da volumetria das edificações a projeções demográficas de ocupação dos quarteirões sem considerar a variação morfológica dos lotes urbanos.

Duas considerações sobre a aplicação do conceito de densidade em Porto Alegre podem ser delineadas:

1. Os parâmetros de densidade (definidos por UEU) estão corretamente dimensionados de acordo com a oferta de infraestrutura e serviços urbanos dentro dos limites correspondentes. Neste caso, é imprescindível, para que o Plano possa empregar de forma racional os recursos de produção da cidade, que as densidades previstas sejam atingidas.
2. Os parâmetros de densidade definidos por UEU podem (e devem) ser ajustados de acordo com transformações recentes que impactaram a oferta de infraestrutura e serviços urbanos no território de Porto Alegre. Reajustes também podem ocorrer em função de parâmetros de densidade recentemente adotados mundialmente em estratégias de planejamento urbano, especialmente com relação à mobilidade urbana e serviços de transporte em massa. Valores máximos previstos por UEU poderiam ser alterados em determinadas regiões da cidade.

Os desafios enfrentados nos dois cenários são diferentes. No primeiro caso, limitações dadas pela geometria dos lotes e pela incidência de restrições legais – edificações de interesse histórico, restrições originadas no meio ambiente natural e outras – impedem que significativo número de lotes, dentro dos limites da Área de Ocupação Intensiva, alcancem o potencial construtivo previsto em lei. Nestes casos, a calibragem da distribuição da densidade por lote pode permitir a revisão de valores de estoque na escala do quarteirão de forma a garantir o objetivo estabelecido para a UEU através da redistribuição geográfica de índices. No segundo caso, áreas da cidade onde a infraestrutura e serviços urbanos possuem perspectiva de a curto e médio prazos serem

qualificados, poderiam intensificar a utilização de estoques construtivos originalmente previstos.

Em ambos os casos, o entrave para atingir os objetivos de densificação previstos pelo Plano residem na estratégia de escolha de tipos edifícios adaptados à ocupação existente, trazendo consistência a paisagem urbana, e à parâmetros mínimos de conforto ambiental – insolação, iluminância e ventilação. As alternativas para o adensamento de Porto Alegre de acordo com as considerações previamente traçadas, compatibilizando atributos como consistência da paisagem urbana e conforto ambiental, serão objeto de teste no estudo de caso proposto nesta pesquisa.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os objetivos desta dissertação incluem: (a) a discussão do modelo de planejamento estabelecido pelo PDDUA de Porto Alegre; (b) a possível utilização de modelos que permitam maior aproximação entre as regras que definem a forma das edificações e a distribuição, no território, das diferentes densidades construtivas; e (c) a oferta de possíveis alternativas para a gestão da densidade construtiva dentro dos limites do território municipal. Para este fim, o Capítulo de Materiais e Métodos está estruturado da seguinte forma:

### 2.1.

#### **Simulação de Cenários Urbanos:**

- Descrição de modelos de representação utilizados para simulação de cenários urbanos e análise de desempenho.

### 2.2.

#### **Área para Estudo de Caso em Porto Alegre:**

- Seleção de área para estudo de caso em Porto Alegre, caracterização do regime urbanístico e dos condicionantes para a ocupação da área selecionada.

## 2.1. Simulação de Cenários Urbanos

Ambientes de projeto auxiliados por **modelos de representação** permitem, dentre outros benefícios, a **correlação de informações**. Com o auxílio de novas tecnologias, é possível modelar e antever situações de projeto com grande precisão. No entanto, a aplicação convencional destas ferramentas, acaba apenas dando continuidade às técnicas representacionais tradicionais, adicionando muito pouco ao processo projetual de arquitetos e urbanistas.

Embora a análise do espaço urbano envolva a descrição das variáveis euclidianas adicionadas a variável tempo, as ferramentas tradicionais de representação em urbanismo usualmente incluem majoritariamente mapeamentos bidimensionais. Atributos urbanos como uso do solo, hierarquia viária, dados socioeconômicos, valor do solo e a própria dinâmica de ocupação do território são tradicionalmente representados em duas dimensões.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) revolucionaram a maneira como organizamos, armazenamos, acessamos, manipulamos, sintetizamos e aplicamos dados para solução de problemas na escala urbana (LONGLEY, 2001). Entretanto, o uso tradicional dos SIG como plataforma bidimensional de representação de objetos urbanos mostra limitações ao não descrever a terceira dimensão da paisagem urbana. Se na tomada de decisão sobre impacto de novos projetos deve-se levar em consideração a forma e altura dos objetos que constituem a área sob análise, o uso tradicional dos SIG não tem colaborado para ilustrar as recíprocas influências dos artefatos construídos neste espaço.

Existem modelos tridimensionais construídos em plataformas CAD<sup>23</sup> ainda não integrados com plataformas SIG, perdendo assim a possibilidade de correlacionar atributos associados ao modelo tridimensional sob forma de banco de dados. Esta limitação torna os modelos tridimensionais digitais comparáveis aos tradicionais modelos físicos (BATTY, 2001). Somente a associação de atributos ao modelo tridimensional garante a possibilidade de cruzamento de dados. O cruzamento de dados permite a leitura da paisagem através do reconhecimento de padrões associando: (a) atributos não-espaciais: descrevem qualitativa ou quantitativamente uma entidade geográfica; (b) atributos espaciais: referentes à localização e à representação do objeto geográfico, considerando sua geometria e sistema de coordenadas; e (c) relações espaciais: relacionamentos de vizinhança como topologia e distância.

A associação da forma tridimensional com atributos é o foco dos modelos BIM (Building Information Model)<sup>24</sup>, cujo objetivo é o gerenciamento do modelo digital, permitindo não apenas a edição de características físicas, mas também funcionais dos modelos. Batty (BATTY, 2007) define 4 categorias de modelos de representação urbana (Tabela 7).

Antes da era digital, os modelos eram em grande parte icônicos, construídos com materiais como madeira e papel, e utilizados para a visualização 2D e 3D das características físicas das cidades (Figura 43). A necessidade de análises estatísticas em conjunto com a representação espacial do espaço é tradicionalmente suprida através da elaboração de mapas bidimensionais, planilhas e gráficos que são utilizados na representação de dados quantitativos e qualitativos do espaço.

---

<sup>23</sup> Desenho assistido por computador (em inglês Computer Aided Design).

<sup>24</sup> BIM, acrônimo do inglês Building Information Model, pode ser traduzido de forma livre no português para Modelo de Informações da Construção.

	ICÔNICO	SIMBÓLICO
FÍSICO	Modelos tradicionais de arquitetura.	Modelos análogos de tráfego.
DIGITAL	Modelos geométricos tradicionais em 3D.	Modelos matemáticos de uso do solo.

Tabela 7:  
Categorias de  
modelos de  
representação  
urbana.

Adaptado de  
(BATTY, 2007).



Figura 43:  
Modelos  
tradicionais de  
áreas urbanas.

Fonte: BATTY,  
2007.

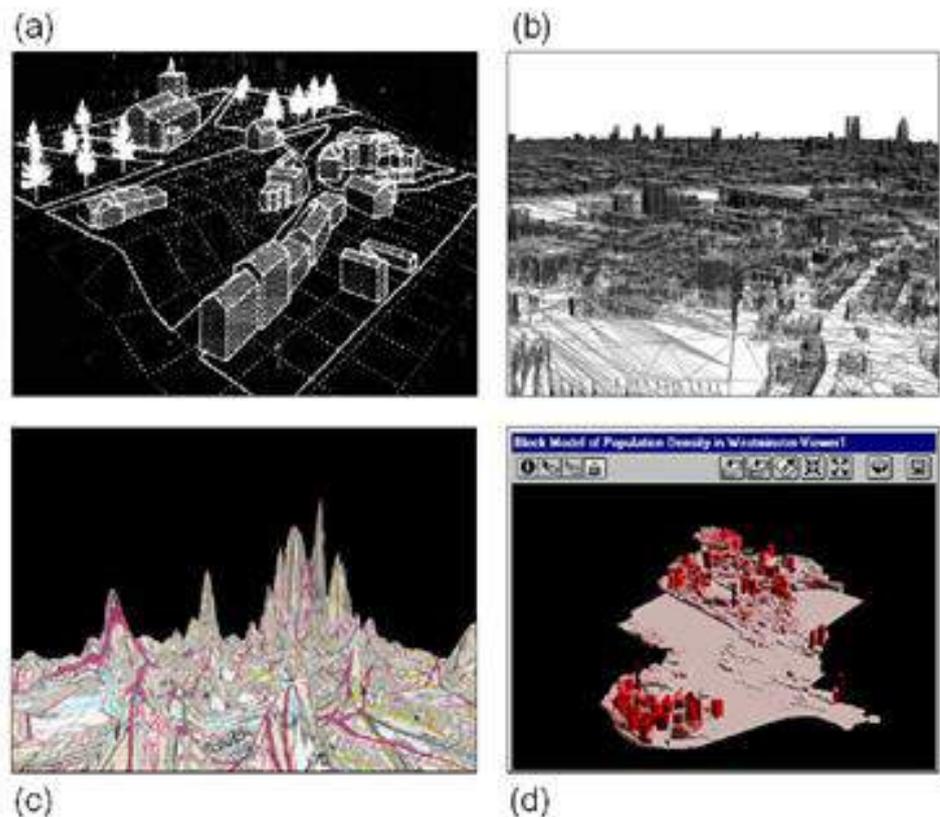
A representação digital de modelos urbanos iniciou de forma rudimentar com o uso de ferramentas CAD (Figura 44, a e b), alcançando maior resolução no desenvolvimento de modelos através da tecnologia SIG. Representações digitais do espaço são capazes de ilustrar não apenas as características físicas dos objetos urbanos (quadras, lotes, edificações, vegetação, recursos naturais), mas também dados quantitativos e

qualitativos do espaço urbano. A Figura 44 (c e d) ilustra a representação de dados socioeconômicos de Londres, representados através da tridimensionalização associada à atributos quantitativos de população (c) e densidade (d).

O que torna a geração atual de modelos digitais 3D uma importante ferramenta na representação voltada para o processo projetual em urbanismo é que tais modelos se comportam como bases de dados. Enquanto bases de dados, estes modelos podem não só armazenar, mas também representar qualquer tipo de atributo espacial, geolocalizado.

Figura 44:  
Modelos  
digitais  
rudimentares.

Fonte: BATTY,  
2007.



Os modelos digitais dotados de atributos não são a simples representação da geometria das cidades como os modelos tradicionais, mas bases de dados que podem ser visualizadas em três dimensões (BATTY, 2007). Como tal, estes modelos representam o modo como dados abstratos simbólicos podem ser integrados ao modelo tradicional 3D.

A Figura abaixo representa em: (a e b) o modelo tradicional de geometria da cidade construído com base na extrusão simplificada de edificações e modelo detalhado (laser scan) de edifícios ícones; (c) sobreposição do modelo tradicional com dados de poluição atmosférica; e (d) integração do modelo tradicional com dados sobre data da construção das edificações permitindo a representação em destaque das edificações construídas entre 2001 e 2004 no centro financeiro de Londres.

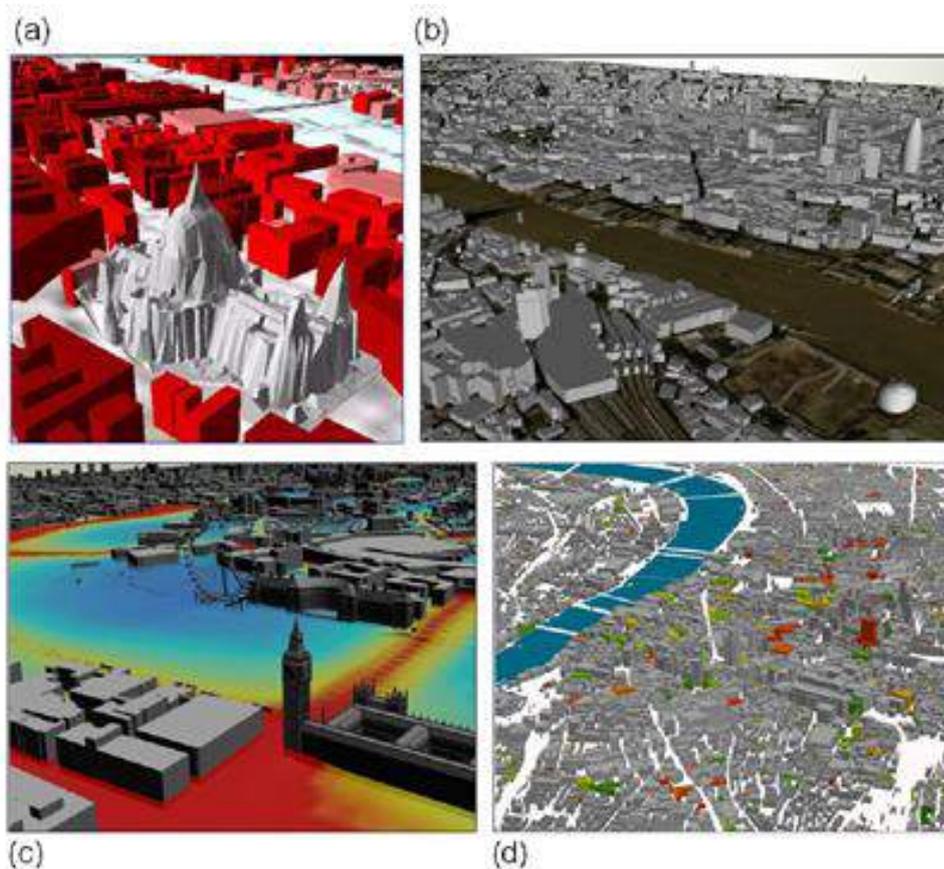


Figura 45:  
Modelos  
Tridimensionais  
com a  
representação  
de diferentes  
camadas  
sobrepostas.

Fonte: BATTY,  
2007.

A representação conjunta de bases de dados com modelos tridimensionais tradicionais representa a integração de modelos simbólico e icônicos na representação de fenômenos urbanos. A integração de modelos visa favorecer não apenas o processo projetual de arquitetos e urbanistas, mas também a comunicação entre os diversos agentes envolvidos na discussão de projetos em escala urbana (planejadores, empresários, técnicos e a

população de forma geral). Neste tipo de representação é possível integrar o “cenário real” com “agentes de simulação”, onde a maneira como estes interagem reflete o objetivo da visualização, neste caso, o desenho e planejamento de cidades.

Softwares vocacionados para a construção de modelos que permitam a integração de “cenários reais” com “agentes de simulação” em um mesmo ambiente, permitindo a correlação de diferentes modelos de desempenho, são raros. As ferramentas digitais disponíveis são, na maioria dos casos, genéricas. Se por um lado estas ferramentas genéricas permitem uma grande liberdade ao usuário que pode, em tese, recriar modelos através da configuração do sistema, por outro torna-se um processo lento e dispendioso, exigindo do usuário conhecimentos avançados de programação. A tabela abaixo apresenta o quadro comparativo das ferramentas digitais disponíveis para a construção de modelos urbanos considerando dois aspectos principais: funcionalidades e modelos de desempenho.

Considerando o objeto desta pesquisa, tanto com relação à leitura dos objetos urbanos a partir das diferentes escalas de agregação quanto com relação à análise de desempenho focada nas questões de habitabilidade do espaço construído (insolação e iluminância), o software CityZoom demonstrou-se mais adequado para a construção dos cenários. A seguir, uma descrição das principais funcionalidades do software e dos modelos de desempenho utilizados na construção dos cenários propostos no âmbito desta pesquisa.

FERRAMENTAS DIGITAIS	FUNÇÕES BÁSICAS						MODELOS DE DESEMPENHO								
	Importação de Dados Espaciais	Identificação de Objetos Urbanos	Hierarquia Espacial	Hierarquia de Escalas	Modelo 3D	Construção de Cenários	Potencial Construtivo	Iluminância	Insolação	Ventilação	Visibilidade	Mobilidade	Hidrologia	Consumo de Recursos	Demanda Equipamentos e Serviços
ArcGIS Urban	Disponível	Passível	Passível	Passível	Disponível	Passível	Passível	Indisponível	Indisponível						
CityCAD	Disponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Disponível	Disponível	Disponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível
CityEngine	Disponível	Passível	Passível	Passível	Disponível	Passível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível
CityZoom	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Indisponível	Disponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível
Modelur	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Disponível	Disponível	Disponível	Indisponível	Indisponível						

Tabela 8: Quadro comparativo de ferramentas digitais para construção de cenários urbanos.

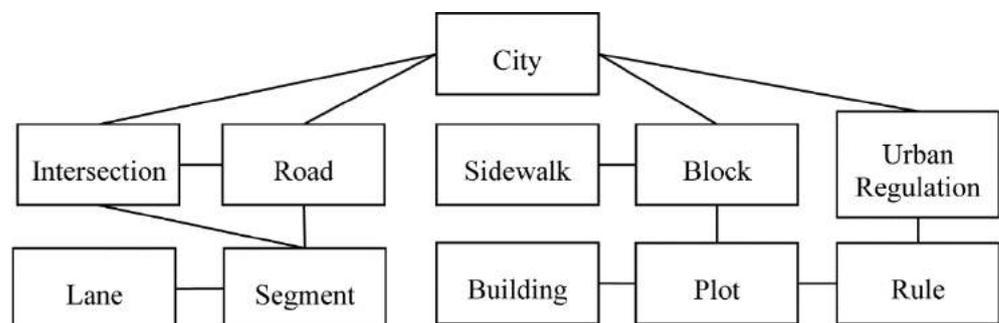
Fonte: Elaborada pela autora.

-  Disponível, com interface implementada.
-  Passível de implementação através de programação específica
-  Passível de implementação através de correlação com outras ferramentas.
-  Indisponível.

## CITYZOOM

O software CityZoom é um sistema de Suporte à Decisão em Planejamento Urbano que, além de reunir ferramentas do tipo CAD e SIG, permite a geração automática de edifícios a partir de regras urbanísticas (TURKIENICZ, et al., 2008). O software permite a visualização de resultados da simulação tanto de forma quantitativa quanto qualitativa, permitindo a visualização em gráficos tridimensionais dos dados numéricos gerados pelos modelos de desempenho. Seu principal diferencial comparado com as tradicionais plataformas CAD/SIG, é a representação de dados através de um modelo orientado ao objeto, que representa a estrutura urbana (ruas, quadras, lotes e edificações) (TURKIENICZ, et al., 2008). A associação de dados com a estrutura urbana possibilita a visualização e consulta de dados em níveis compatíveis com a hierarquia dos objetos representados (cidade > distrito > tecido > quadra > lote > edifício).

Figura 46:  
Estrutura de  
objetos  
urbanos no  
CityZoom.



Fonte:  
TURKIENICZ,  
2008, P.85.

## CONCEITOS GERAIS

A estratégia de representação de objetos urbanos tridimensionais no modelo implementado no programa é constituída por Meshes e Voxels. O primeiro, Meshes, corresponde a representação planar das faces dos objetos através de uma malha triangular; o segundo, Voxels, corresponde a módulos volumétricos utilizados na geração e edição de volumes construídos. A representação em malha triangular constitui a estratégia de representação genérica de objetos no CityZoom para edifícios, lotes, ruas e terrenos, enquanto os módulos volumétricos - voxels - são utilizados exclusivamente na representação das edificações (Figura 47).

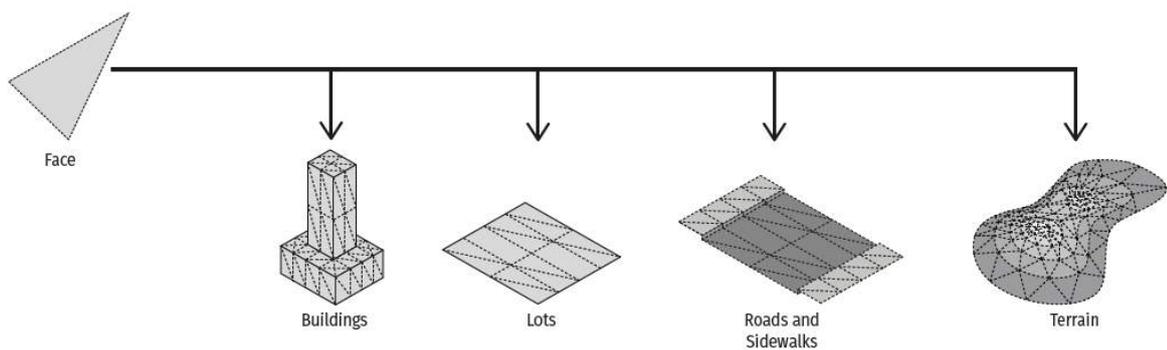


Figure 4 - Elements represented with Meshes

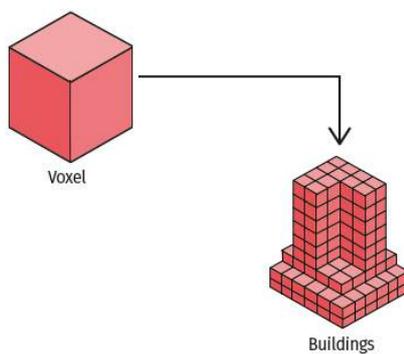


Figura 47:  
Representação  
de objetos  
tridimensionais  
no CityZoom.

Fonte:  
TURKIENICZ et  
al, 2018, p.6.

A partir destas duas estratégias de representação dos volumes edificados, acessam-se os resultados das simulações de desempenho, conforme ilustrado na Figura 48.

Tanto as Faces quanto os Voxels constituem objetos urbanos organizados hierarquicamente a partir das diferentes escalas de acesso às estruturas urbanas, do nível mais alto para o nível mais baixo: cidade, distrito, tecido, quadra, lote e edificação. No modelo, os objetos não guardam apenas uma relação de simples hierarquia entre si, estando agrupados nos diferentes níveis de agregação: as edificações estão contidas nos lotes, os lotes estão contidos nas quadras, as quadras estão contidas no tecido, os tecidos estão contidos no distrito e os distritos estão contidos na cidade.

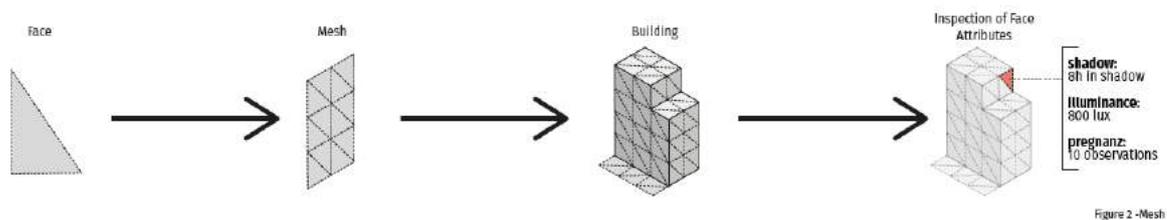


Figure 2 -Mesh

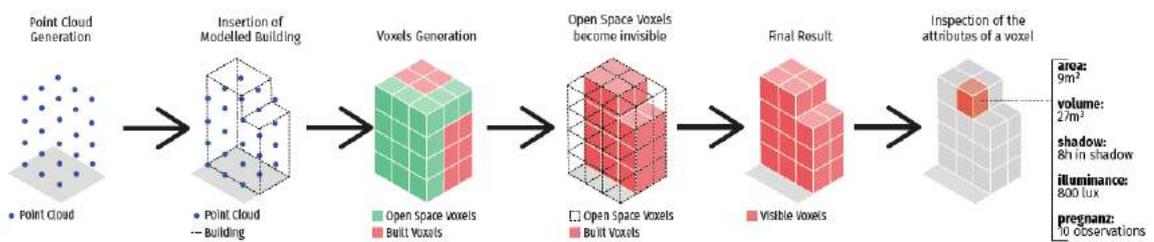


Figure 3 -Voxels

Figura 48:  
Conceitos  
gerais da  
representação  
de objetos 3D  
no CityZoom.

Fonte:  
TURKIENICZ et  
al, 2018, p.5.

A construção inicial do modelo tridimensional da cidade no programa requer dados de entrada bidimensionais, contendo a geometria e os atributos básicos cadastrais da estrutura urbana:

- Topografia: representação espacial bidimensional linear das curvas de nível com o atributo de cota de nível correspondente para cada linha;
- Sistema viário: eixo viários com informação de largura da caixa da via, leito e calçadas;
- Quadras: delimitação espacial das quadras em polígono;
- Lotes: delimitação espacial dos lotes em polígono com opção de informação adicional de uso, propriedade (público/privado) e outros de interesse;
- Edificações: delimitação espacial das edificações de acordo com as diferentes estruturas - base, corpo e outros volumes -, bem como o atributo numérico correspondente a altura e/ou número de pavimentos correspondente a cada estrutura.

A partir das informações cadastrais elencadas o modelo tridimensional da cidade é gerado, conforme ilustrado na Figura 49.

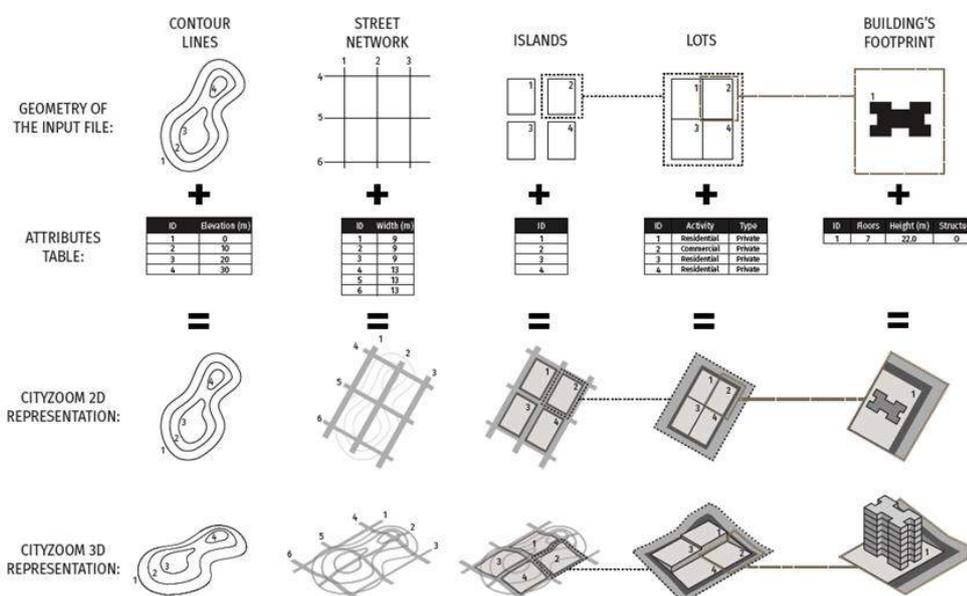


Figura 49: Construção do modelo da cidade no CityZoom.

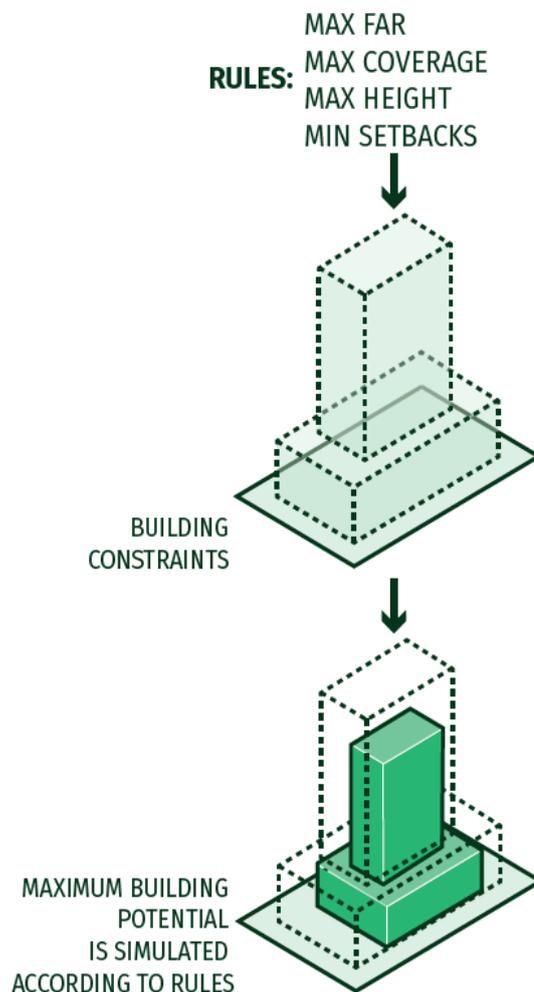
Fonte: TURKIENICZ et al, 2018, p.8.

## CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS URBANOS NO CITYZOOM

Além da construção de cenários urbanos existentes a partir dos dados da estrutura cadastral básica, o CityZoom permite a construção tridimensional de novas edificações de acordo com parâmetros tradicionalmente estabelecidos em normativas urbanísticas: coeficiente de aproveitamento (IA); taxa de ocupação (TO); altura máxima (em pavimentos ou em metros); e recuos (frontais, laterais e de fundos, tanto em metros quanto percentuais em relação à altura. No processo de simulação de novas construções, a construção simulada não representa simplesmente a ocupação de acordo com os parâmetros máximos previstos, mas a forma construída correspondente ao potencial construtivo máximo possível a partir dos parâmetros informados.

Figura 50:  
Simulação de  
acordo com  
normativas  
urbanísticas no  
CityZoom.

Fonte:  
TURKIENICZ et  
al, 2018, p.  
122.



Neste sentido, uma das grandes vantagens da utilização do software na construção de cenários urbanos reside no fato de que o processo de simulação ocorre de forma automática a partir dos parâmetros informados, evitando a necessidade da simulação lote a lote. Adicionalmente, ao integrar em um mesmo modelo a possibilidade de visualização do cenário existente e do cenário simulado, é possível utilizar filtros que permitem estabelecer parâmetros quantitativos para a substituição de edificações existentes no processo de simulação. A título de exemplo, é possível estabelecer a substituição das edificações existentes que não executem determinado percentual mínimo do potencial construtivo previsto para o lote.

A partir do modelo tridimensional simulado, avaliações de desempenho podem ser realizadas tanto com relação ao potencial construtivo executado, quanto com relação às características ambientais do espaço urbano. A seguir, são apresentados os modelos de desempenho ambiental utilizados nesta pesquisa, formas de acesso aos resultados quantitativos e estratégias para visualização do impacto correlato no teste de normativas urbanísticas.

## MODELOS DE DESEMPENHO NO CITYZOOM

Os cenários construídos no CityZoom, sejam eles resultantes de configurações urbanas existentes sejam resultantes da aplicação de regimes urbanísticos, podem ser analisados de acordo com modelos de desempenho. Considerando o foco desta pesquisa na análise de desempenho ambiental das construções, serão apresentados dois modelos implementados no software: (i) sombra/insolação; e (ii) iluminância. A seguir, estes modelos são apresentados e tem suas principais funcionalidades descritas.

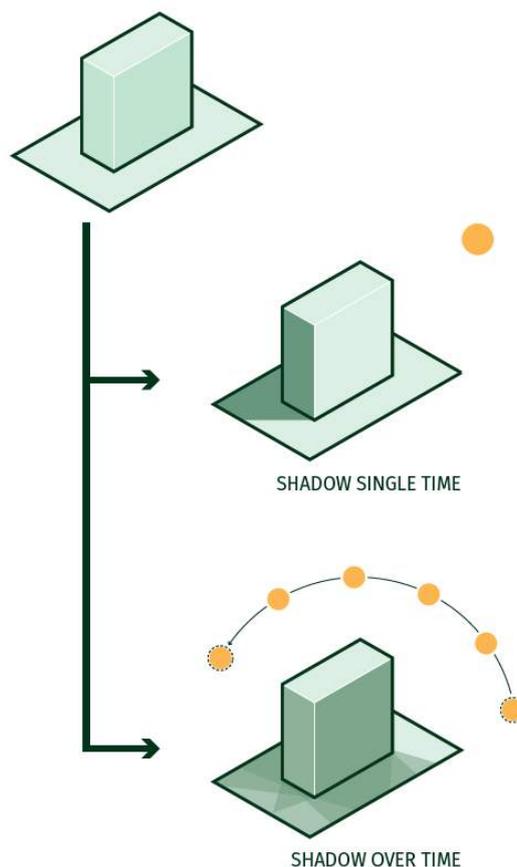
## Análise de Sombra / Insolação

A análise de sombra e insolação no CityZoom permite calcular o número de horas em que cada face do modelo permanece em sombra para determinado período de tempo, podendo ser executada de duas formas (Figura 51):

- shadow analysis - single time: calcula a configuração de sombra para um momento específico;
- shadow analysis - over time: calcula o número de horas em que determinada face permanece em sombra durante um intervalo de tempo.

Figura 51:  
Análise de  
sombra no  
CityZoom.

Fonte:  
TURKIENICZ  
et al, 2018,  
p. 174.



Para a execução da análise, são disponibilizados três parâmetros:

- Configuração geográfica: onde o usuário insere as informações sobre a localização do modelo incluindo latitude, longitude e fuso horário local;

- Sombra em momento específico: para configuração de ano, mês, dia e hora para a análise;
- Sombra para determinado intervalo de tempo: permitindo a definição de início e fim - ano, mês, dia e hora - para a análise em determinado intervalo de tempo.

A avaliação dos resultados da simulação realizada é possível através de duas formas de acesso à informação: visualização dos resultados nas faces do modelo e resultados quantitativos da área em m<sup>2</sup> de faces em determinado intervalo. A Figura 52 ilustra o resultado da simulação de sombra acumulada para determinado intervalo de tempo em modelo simulado no CityZoom.

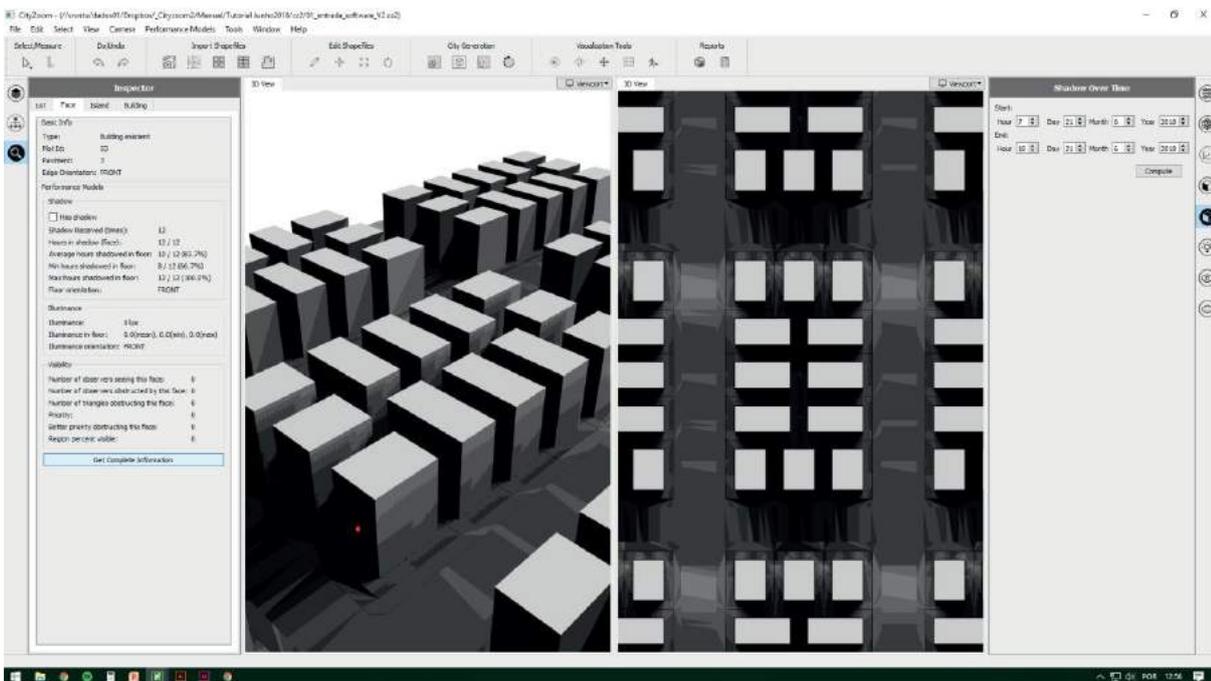


Figura 52:  
Resultado da  
simulação de  
sombra em  
modelo  
simulado no  
CityZoom.

Fonte:  
TURKIENICZ et  
al, 2018, p.  
180.

## Análise de Iluminância

A análise de iluminância no CityZoom permite medir a incidência de luz natural nas faces do modelo para uma configuração de céu específico escolhido pelo usuário. Dentro da escala de cores, as faces com maior incidência de luz são representadas em amarelo, ao passo em que as faces com menor incidência são representadas em um tom de azul escuro.

O resultado de iluminância apresentado é o somatório de quatro componentes:

- Vertical Sky Component (VSC): incidência de luz direta a partir do céu livre de obstruções e sem a influência da reflexão;
- Obstruction-Reflected Component (ORC): luz refletida uma vez a partir da superfície de outras edificações;
- Ground-Reflected Component (GRC): luz refletida uma vez a partir da superfície do solo;
- Interreflected Component (IRC): luz refletida múltiplas vezes entre as superfícies das edificações e do solo.

A intensidade da luz a partir da cúpula do céu depende da configuração de céu definida pelo usuário. No CityZoom, estão predefinidas 15 (quinze) configurações padrão de céu de acordo com a International Commission on Illuminance (CIE). Cada uma destas configurações indica a proporção da intensidade luminosa em relação a posição do zênite a partir de diferentes partes da cúpula.

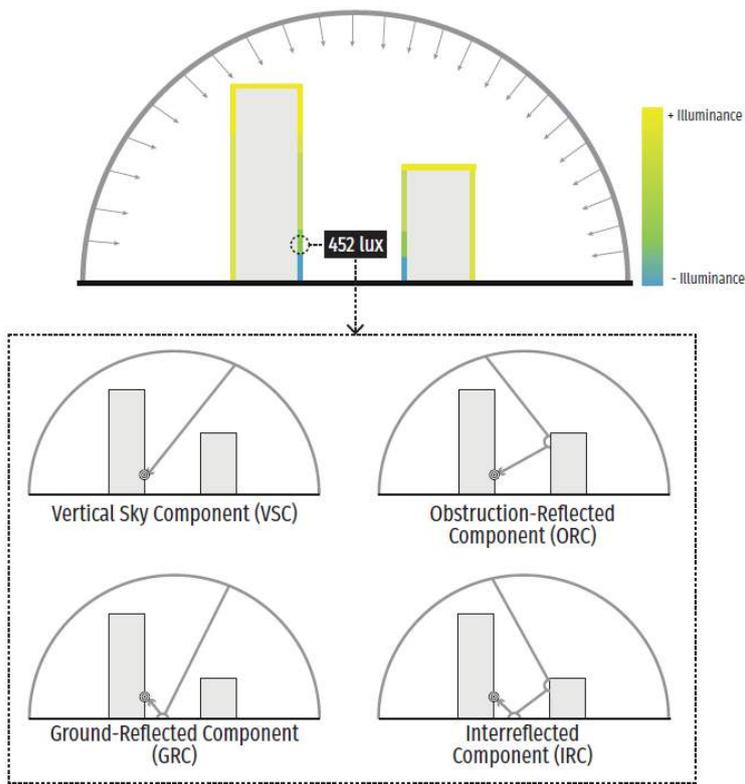


Figura 53:  
Modelo de  
iluminância no  
CityZoom.

Fonte:  
TURKIENICZ et  
al, 2018,  
p.187.

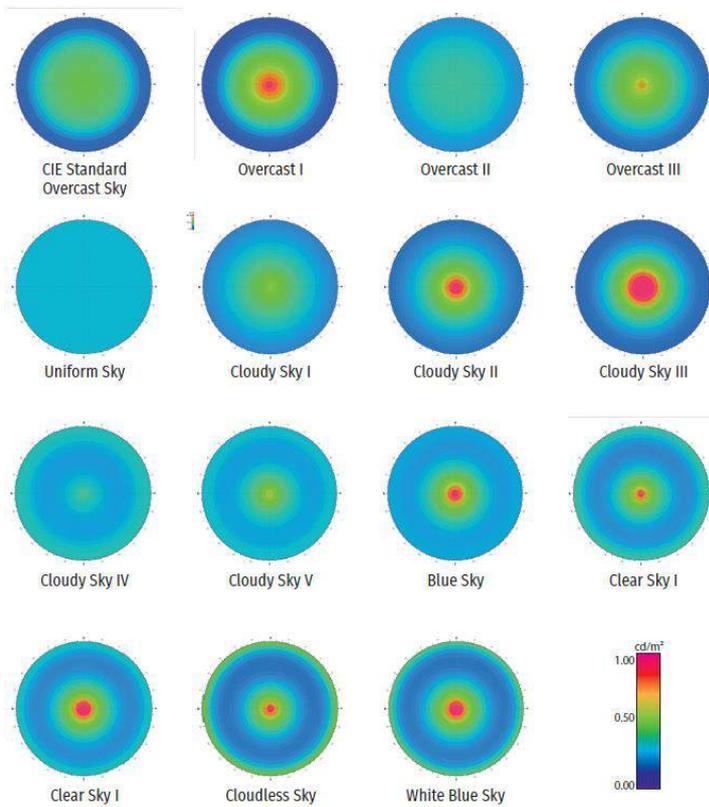


Figura 54:  
Configuração  
de céu.

Fonte:  
TURKIENICZ et  
al, 2018,  
p.188.

A partir das configurações estabelecidas pelo usuário, a simulação resultante demonstra valores de iluminância para cada face do modelo. Na visualização dos resultados, cada face é representada de acordo com uma escala de cores do azul ao amarelo, nos extremos: em azul escuro as faces com valores baixos e em amarelo claro as faces com altos valores de iluminância.

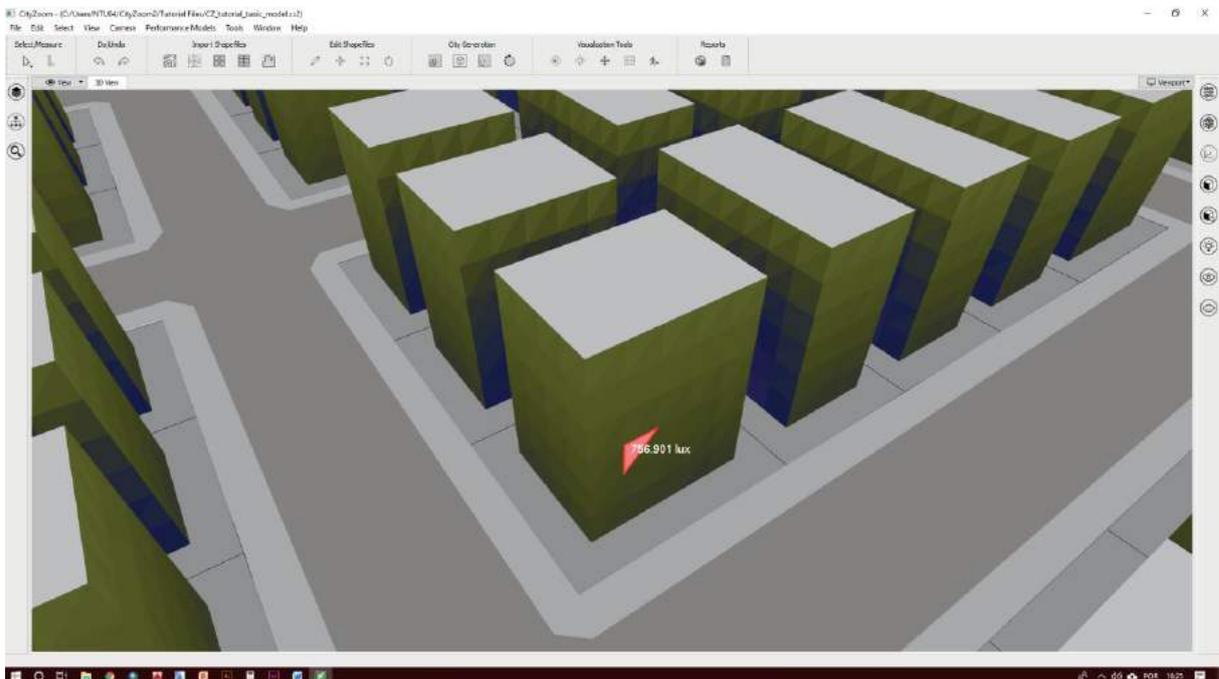


Figura 55:  
Simulação de  
iluminância no  
CityZoom.

Fonte:  
TURKIENICZ et  
al, 2018,  
p.193.

## 2.2. Seleção de Área para Estudo de Caso

Em planos urbanísticos, a densidade construtiva ganhou nome/moeda própria: o Índice de Aproveitamento (LEHNERER, 2009). Conforme apresentado no Capítulo II - Fundamentação Teórica, em Porto Alegre esta moeda recebe o nome de Solo Criado (SC). Em locais de interesse do município valores de SC são disponibilizados para aquisição de acordo com densidades populacionais máximas previstas no Plano Diretor. Se, por um lado, a oferta de SC deve estar alinhada com a oferta de serviços e infraestrutura local, de outro deve também atender às estratégias de desenvolvimento previstas no Plano. A seleção de áreas para a simulação de alternativas para o adensamento de Porto Alegre, objeto deste estudo, utilizou como critério a identificação de áreas: (1) com potencial de adensamento; e (2) sobre pressão de desenvolvimento urbano<sup>25</sup>.

As áreas com potencial/interesse de adensamento em Porto Alegre encontram-se identificadas nas Estratégias de Desenvolvimento Sustentável previstas para a ocupação do território municipal que constituem o “eixo central” do 2º PDDUA (PORTO ALEGRE, 1999). Estruturado espacialmente através das Macrozonas, o Modelo Espacial do Plano identifica três MZs como integrantes da Área de Ocupação Intensiva e, portanto, limite para o estímulo a maiores densidades (compatíveis com a oferta de serviços e infraestrutura urbana): 1 - Cidade Radiocêntrica, 2 - Corredor de Desenvolvimento e 3 - Cidade Xadrez. Como limite à área de interesse de densificação temos a Macrozona 4 - Cidade de Transição.

---

<sup>25</sup> Neste caso, o interesse de desenvolvimento urbano é aqui empregado de acordo com a redação do 2º PDDUA que prevê na Estratégia de Produção da Cidade a cidade como uma “construção de conjunto” em que o município “dará condições e orientações para que as empresas e os proprietários de terra contribuam para o desenvolvimento urbano”.

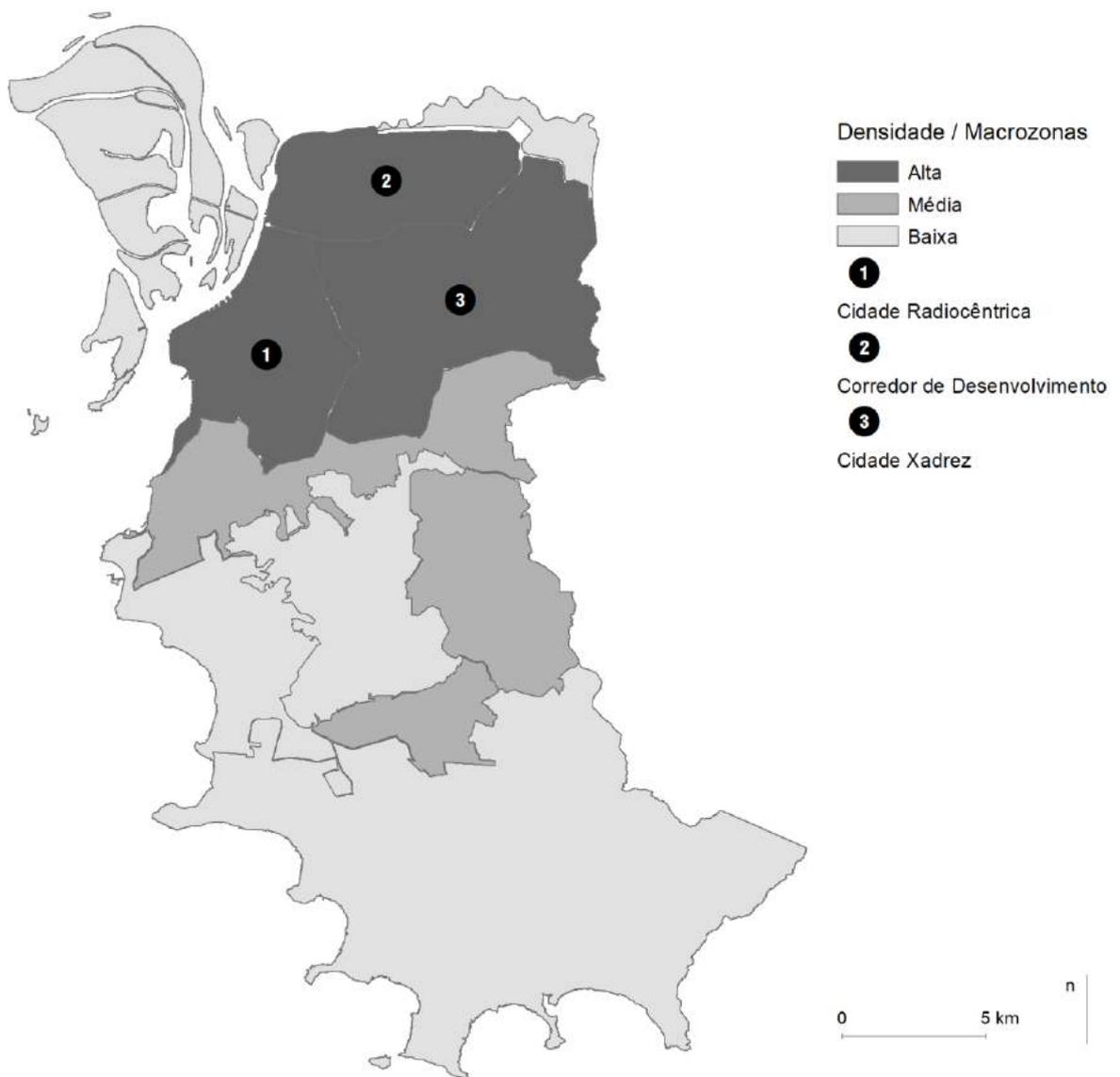


Figura 56:  
Áreas por  
potencial de  
adensamento  
de acordo com  
o 2º PDDUA.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

Para a caracterização das áreas sob pressão de desenvolvimento em Porto Alegre, foram sobrepostos três critérios de acordo com os dados disponíveis: (i) bairros com o maior número de empreendimentos com imóveis em oferta em 2018; (ii) bairros com o maior valor de venda por metro quadrado em 2018; e (iii) bairros com a maior venda de estoques de TPC/SC entre os anos de 2014 e 2018.

De acordo com relatório periódico realizado pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil do Rio Grande do Sul (SINDUSCON/RS), em 2018, 11 dos 94 bairros em Porto Alegre concentraram 49,37% dos empreendimentos com imóveis em oferta a venda. Destes, 6 (seis) coincidem com os bairros em que a venda de Solo Criado (SC) foi acima de 5.000 m<sup>2</sup> no período entre 2014 e 2019<sup>26</sup>. Com relação à valores de venda, em relatório de 2018, o Sindicato das Empresas de Compra, Venda, Locação e Administração de Imóveis (Secovi-RS) identificou os bairros com maior valor de venda de imóveis (m<sup>2</sup> mais caro).

A Figura 59 ilustra a sobreposição dos 10 (dez) bairros no topo das três relações (empreendimentos/venda de SC/valor de venda), com o limite das Macrozonas destacadas em função da relação de densidade (alta/média/baixa).

---

<sup>26</sup> No gráfico é possível notar uma aparente inconsistência entre os bairros Boa Vista e Jardim Europa. Esta situação foi influenciada pela aprovação da nova Lei de Limite dos Bairros de Porto Alegre em 2016. O primeiro, Boa Vista, teve seu limite revisto na interface com o Bairro Passo da Areia. O segundo, Jardim Europa, não existia em período anterior a esta lei, alterando, com a sua criação, as delimitações dos Bairros Boa Vista, Passo da Areia e Vila Ipiranga. (PORTO ALEGRE, 2016)

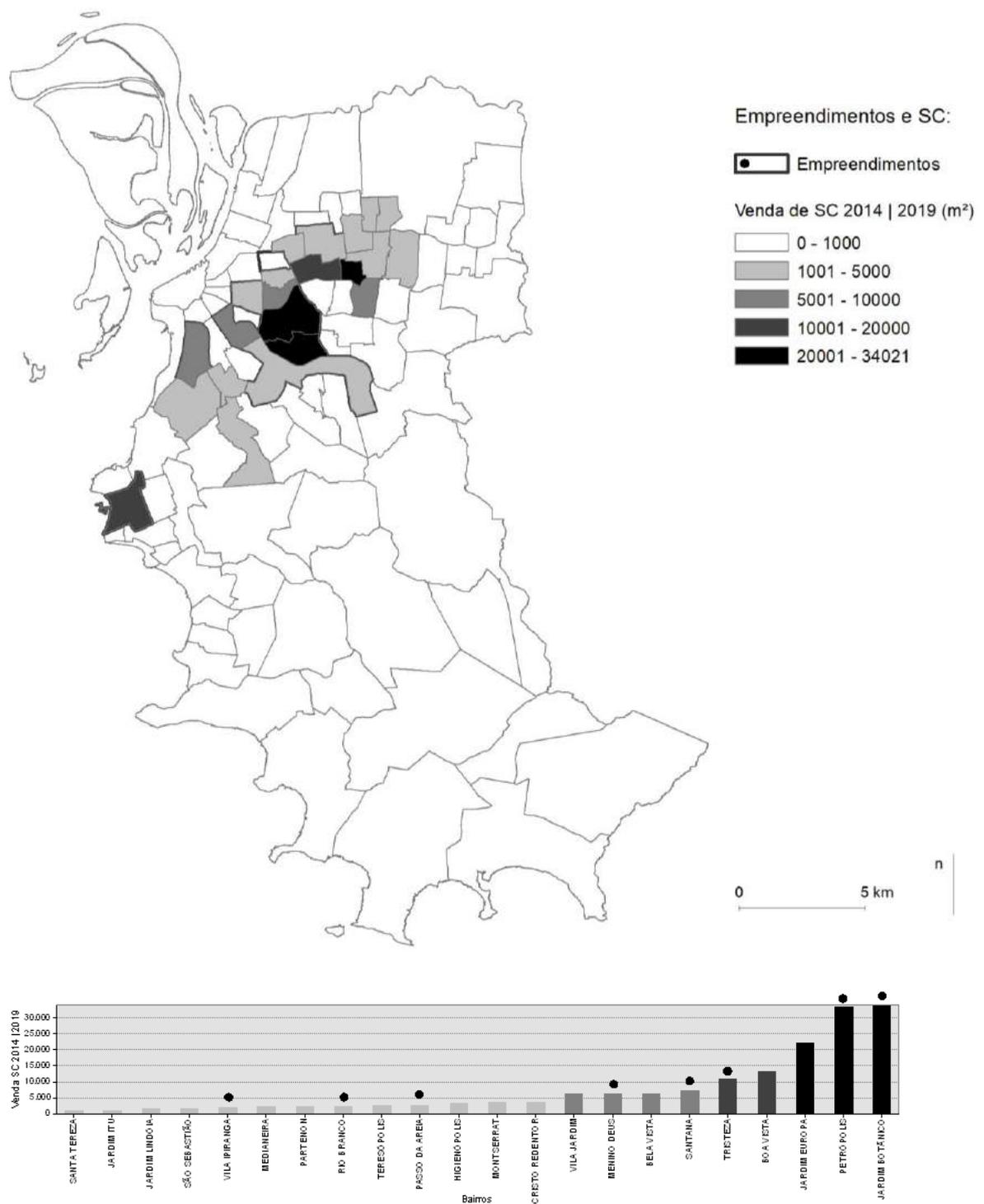


Figura 57:  
Bairros em destaque.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

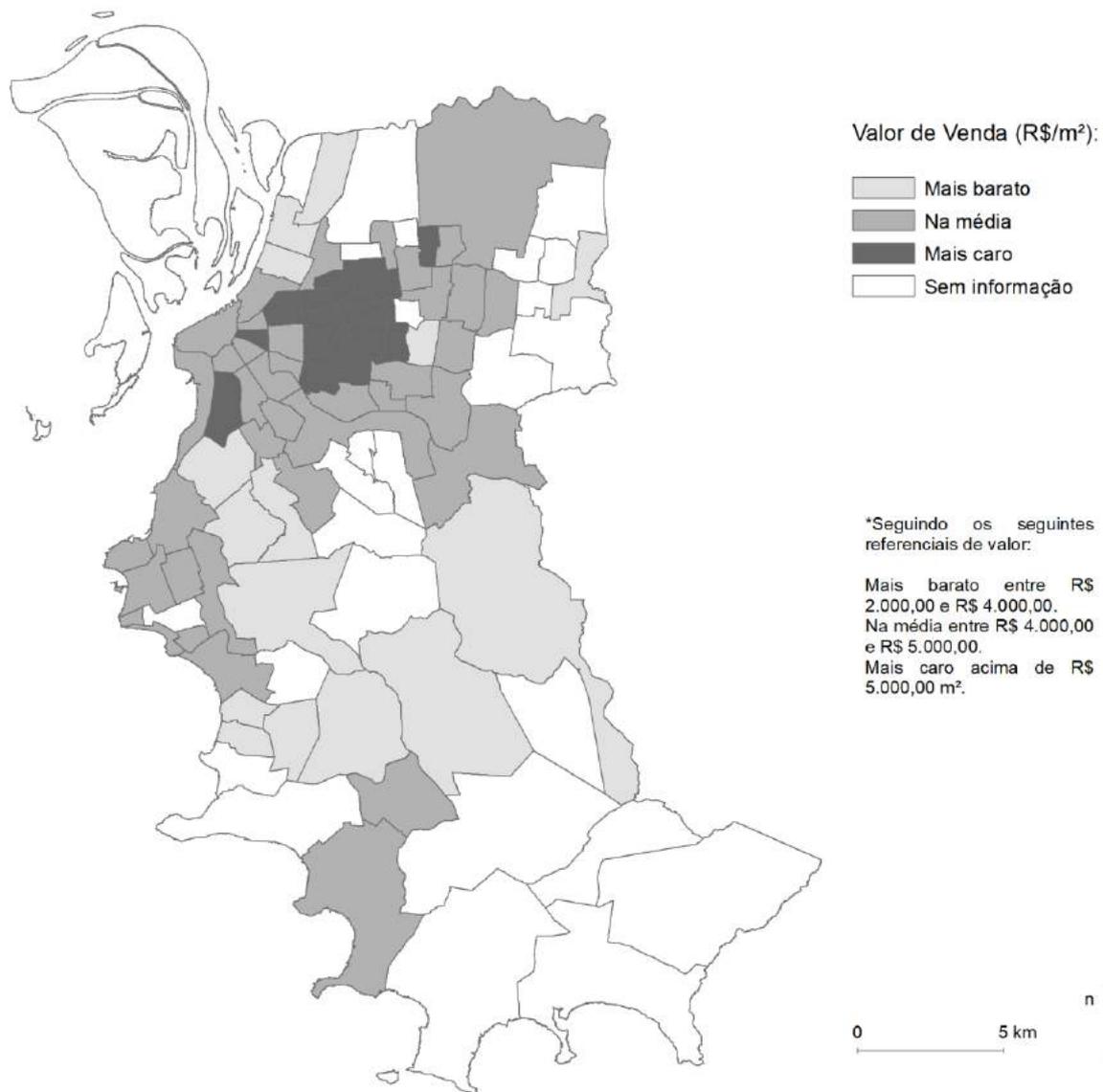


Figura 58:  
 Bairros de  
 acordo com  
 valor de venda  
 por m<sup>2</sup>.

Adaptado de  
 ZERO HORA,  
 2018.<sup>27</sup>

<sup>27</sup> Disponível online em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/porto-alegre/noticia/2018/10/venda-de-imoveis-veja-os-bairros-mais-caros-e-mais-baratos-de-porto-alegre-cjnn9ehd907sm01rx03zb0oem.html>

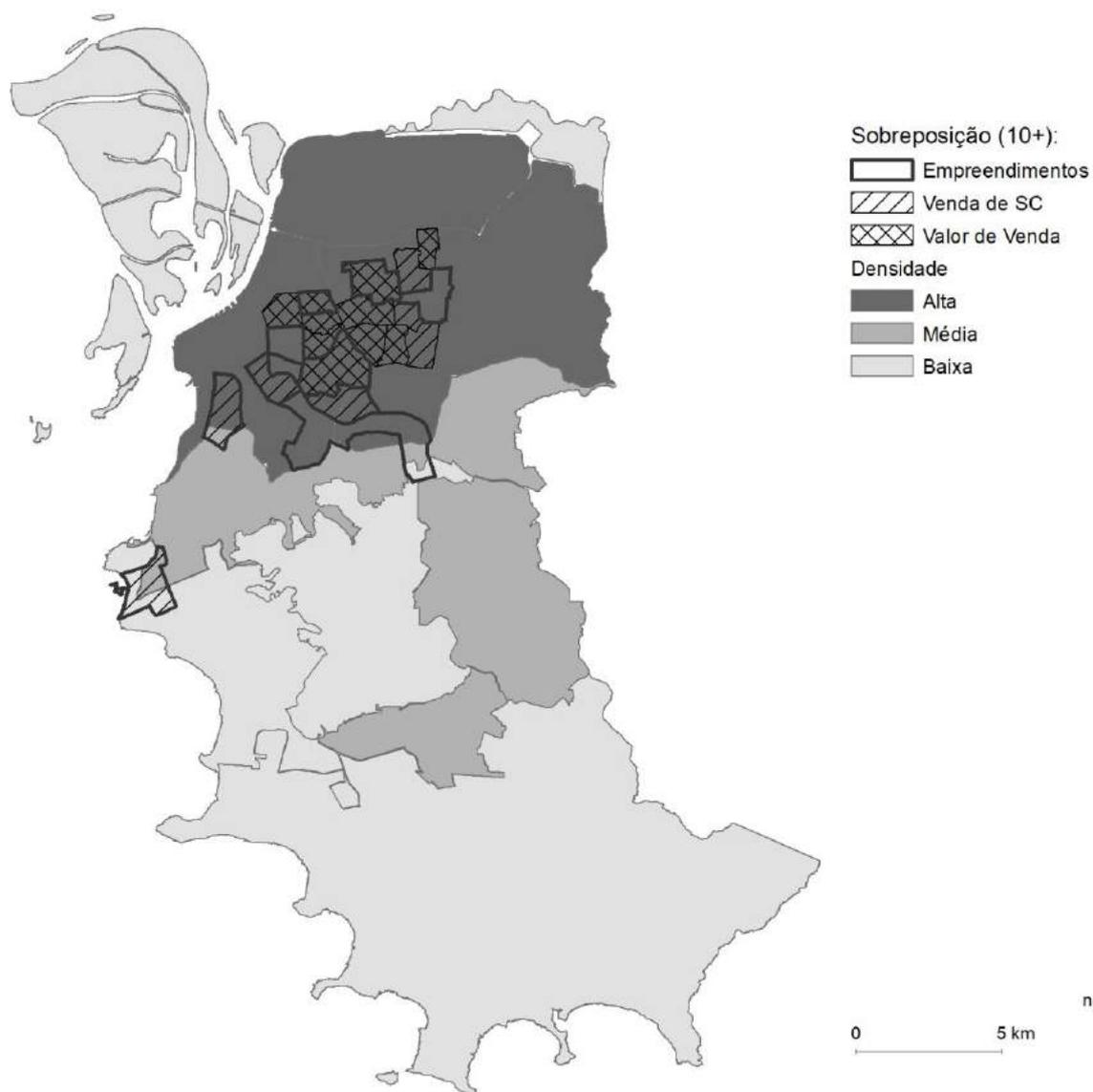


Figura 59:  
Sobreposição  
de bairros no  
topo das três  
relações.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

Analisando os bairros no topo da lista das três relações e sua relação com a densidade indicada no 2º PDDUA, temos o quadro apresentado na Tabela 9. Da sobreposição de critérios, podemos relacionar 6 (seis) grupos, apresentados na Tabela 10.

BAIRRO (em ordem alfabética)	DENSIDADE PLANEJADA			DESENVOLVIMENTO ATUAL		
	BAIXA Rarefeita	MÉDIA Transição	ALTA Intensiva	Empreendi- mentos	Valor de Venda de Imóveis	Venda de SC
Auxiliadora			X	X	X	
Bela Vista			X	X	X	X
Boa Vista			X		X	X
Chácara das Pedras			X		X	
Cristo Redentor			X			X
Jardim Botânico			X	X		X
Jardim Europa			X			X
Jardim Lindóia			X		X	
Menino Deus		X	X	X		X
Moinhos de Vento			X		X	
Mont Serrat			X		X	
Partenon		X	X	X		
Passo da Areia			X	X	X	
Petrópolis			X	X	X	X
Rio Branco			X	X		
Santana			X	X		X
Três Figueiras			X		X	
Tristeza	X	X		X		X
Vila Ipiranga			X	X		
Vila Jardim			X			X

Tabela 9:  
Densidade e  
Nível de  
Desenvolvi-  
mento dos Bairros  
selecionados.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

Tabela 10:  
Agrupamento  
de Bairros de  
acordo com os  
critérios  
selecionados.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

GRUPO	DENSIDADE PLANEJADA			DESENVOLVIMENTO ATUAL			BAIRRO
	BAIXA Rarefeita	MÉDIA Transição	ALTA Intensiva	Empre- endim- entos	Valor de Venda de Imóveis	Venda de SC	
I. DENSIDADE PLANEJADA BAIXA/MÉDIA E DESENVOLVIMENTO MÉDIO	X	X		X		X	Tristeza
II. DENSIDADE PLANEJADA MÉDIA/ALTA E DESENVOLVIMENTO BAIXO		X	X	X			Partenon
III. DENSIDADE PLANEJADA MÉDIA/ALTA E DESENVOLVIMENTO MÉDIO		X	X	X		X	Menino Deus
IV. DENSIDADE PLANEJADA ALTA E DESENVOLVIMENTO BAIXO			X	X			Rio Branco
			X	X			Vila Ipiranga
			X		X		Chácara das Pedras
			X		X		Jardim Lindóia
			X		X		Mainhos de Vento
			X		X		Mont Serrat
			X		X		Três Figueiras
			X			X	Cristo Redentor
			X			X	Jardim Europa
			X			X	Vila Jardim
V. DENSIDADE PLANEJADA ALTA E DESENVOLVIMENTO MÉDIO			X	X	X		Auxiliadora
			X	X	X		Passo da Areia
			X	X		X	Jardim Botânico
			X	X		X	Santana
			X		X	X	Boa Vista
			X		X	X	Bela Vista
VI. DENSIDADE PLANEJADA ALTA E DESENVOLVIMENTO ALTO			X	X	X	X	Petrópolis

Na relação de territórios listados na planilha, o bairro Petrópolis se destaca pela previsão tanto de altas densidades, quanto pela alta pressão de desenvolvimento imobiliário, tornando-o candidato preferencial para as simulações propostas nesta pesquisa.

## DENSIDADES PREVISTAS PARA A ÁREA SELECIONADA DE ACORDO COM O 2º PDDUA

O primeiro passo para avaliar a possibilidade de calibragem na distribuição da densidade prevista no PDDUA, na área selecionada, é verificar o potencial construtivo dentro dos limites das Macrozonas e das Unidades de Estruturação Urbana incidentes. Considerando o disposto no Anexo 4 - Densidades Brutas, sem a adição de SC, temos a seguinte definição de parâmetros de densidade para as Macrozonas e UEUs de Porto Alegre:

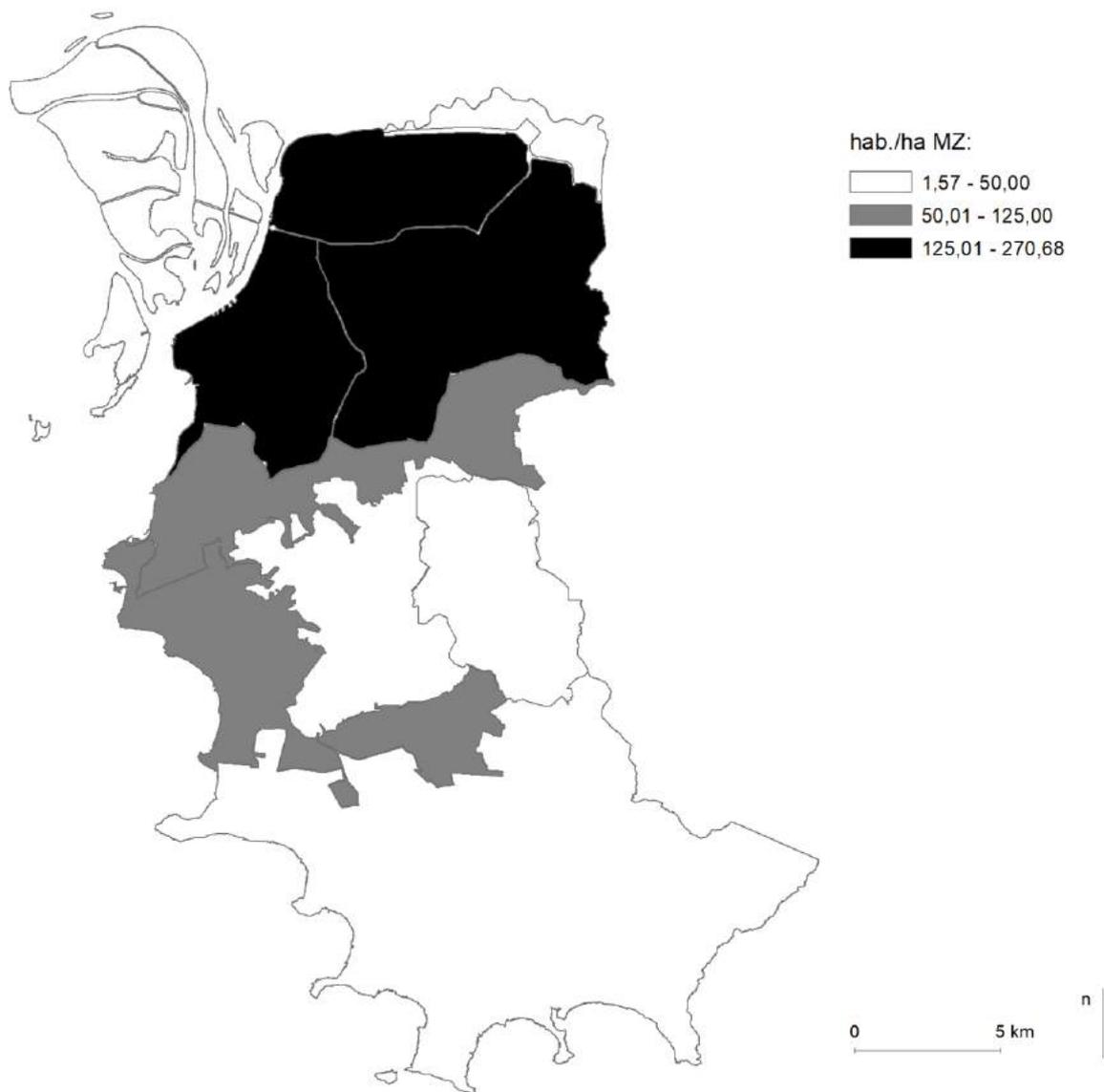


Figura 60:  
Densidade  
prevista por  
Macrozona em  
Porto Alegre.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

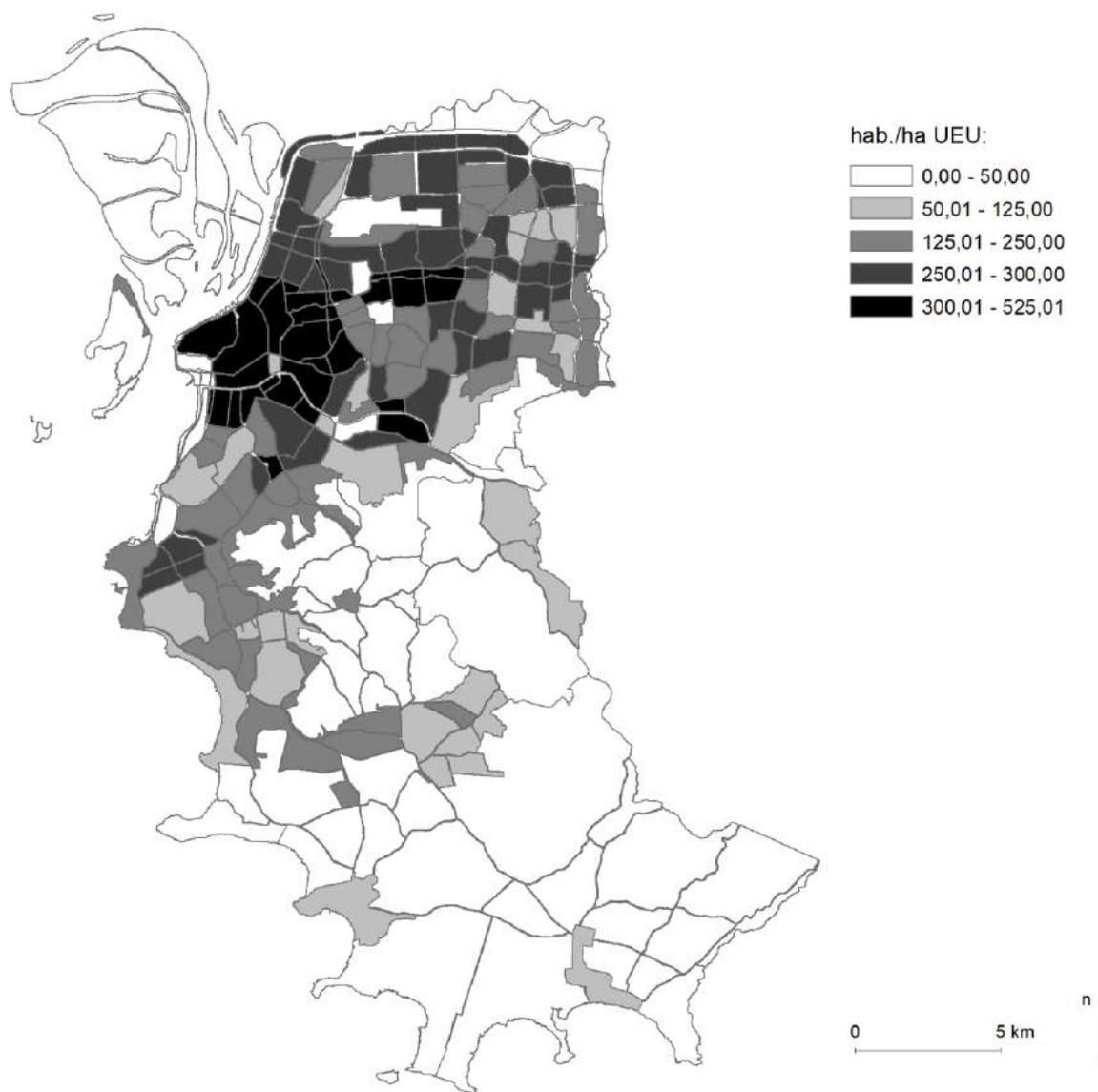


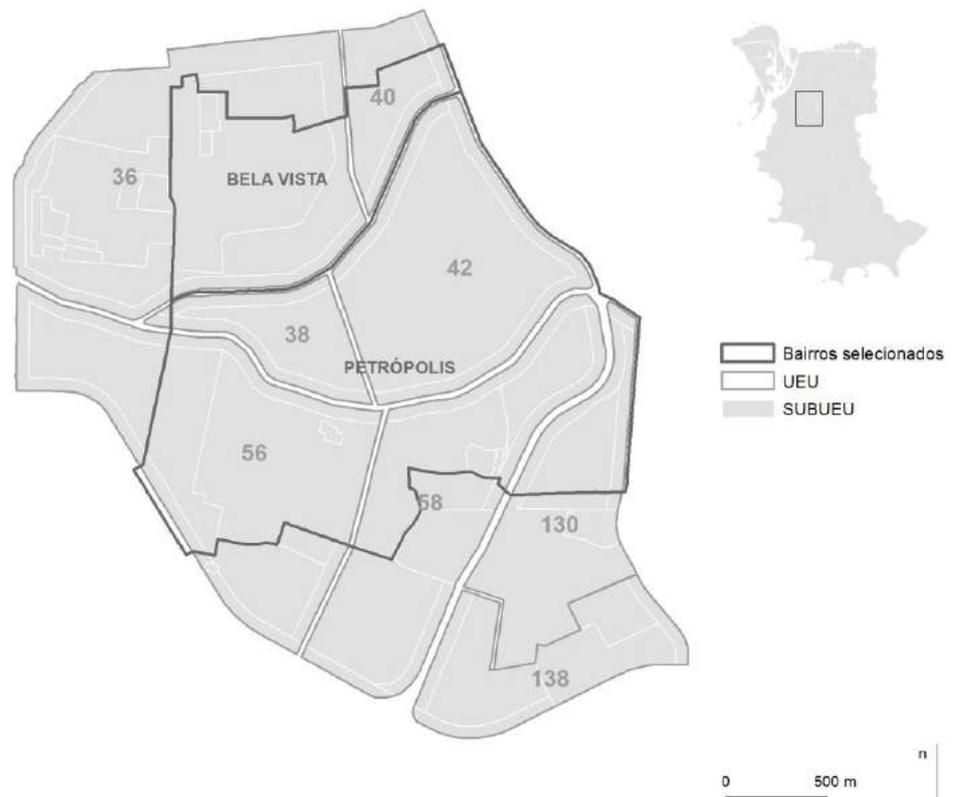
Figura 61:  
Densidade  
prevista por  
UEU em Porto  
Alegre.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

A conversão de densidade em potencial construtivo foi realizada através das informações das SUBUEUs<sup>28</sup>, acessadas a partir das UEU's que incorporam os bairros Bela Vista e Petrópolis (Figura 49).

Figura 62:  
UEUs  
selecionadas  
para aplicação  
da  
metodologia  
proposta.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



O processo de avaliação do potencial construtivo disponível nas UEU's/SUBUEUs selecionadas foi realizado através de três procedimentos: (a) cálculo do Índice de Aproveitamento Básico para as SUBUEUs incidentes e potencial construtivo resultante; (b) somatório dos Estoques de TPC/SC disponíveis nos quarteirões incidentes na UEU; e (c) aferição de valores de área construída total atualizados por UEU.

<sup>28</sup> Os parâmetros referentes ao potencial construtivo previsto no PDDUA estão definidos por Subunidade de Estruturação Urbana (SUBUEU). Por esta razão, o acesso aos valores de referência nos limites das UEU's e das Macrozonas passa pela agregação dos valores previstos na SUBUEU.

(a) Cálculo do IA básico para as SUBUEUs incidentes e Potencial Construtivo Resultante

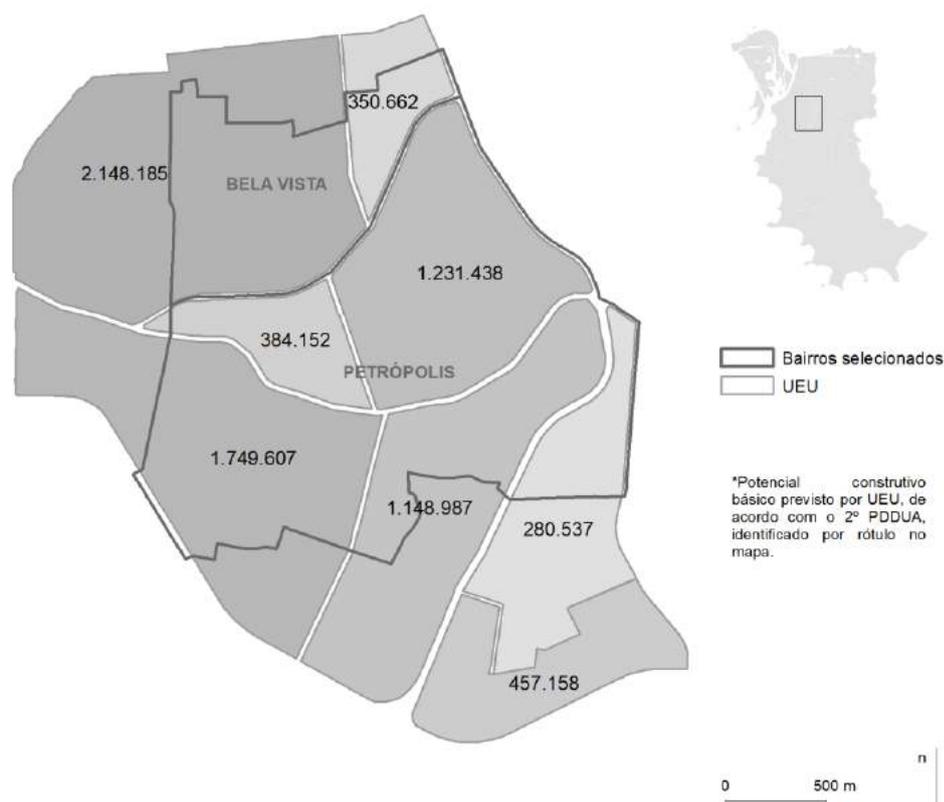


Figura 63:  
Potencial construtivo por UEU selecionada: áreas adensáveis.

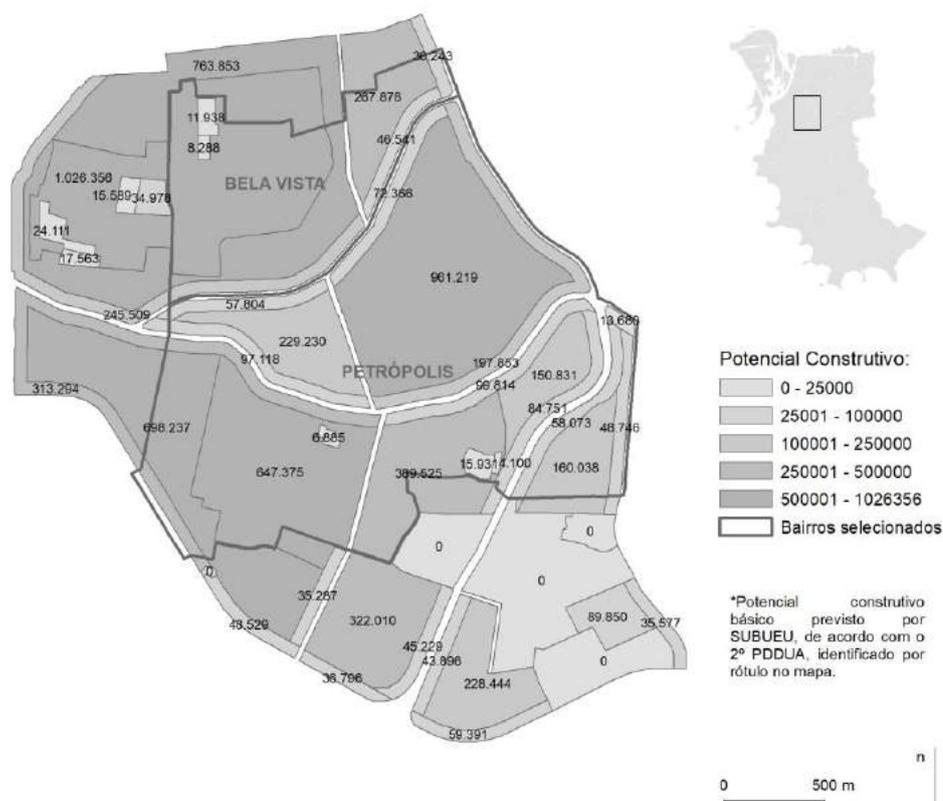
Fonte:  
Elaborada pela autora.

O cálculo do IA básico aplicado ao parcelamento do solo local equivale ao potencial construtivo básico previsto para a área de estudo, de acordo com as densidades previstas no 2º PDDUA<sup>29</sup>. Como resultado total, temos na área selecionada o potencial construtivo previsto de cerca de 7,75 milhões de metros quadrados de área adensável, distribuídos por UEU/SUBUEU de acordo com a Figura 63 e a Figura 64, respectivamente.

<sup>29</sup> Potencial construtivo considerando o ajuste de valores descontados os espaços públicos: vias, calçadas e equipamentos públicos.

Figura 64:  
Potencial  
construtivo por  
SUBUEU  
selecionada:  
áreas  
adensáveis.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



No Plano Diretor de Porto Alegre, a área total construída permitida para lotes urbanos resulta do somatório de áreas adensáveis, áreas não adensáveis e áreas isentas. Para que o valor calculado possa ser equivalente à área construída total, devem ser adicionadas às áreas adensáveis as áreas não adensáveis e as áreas isentas. De acordo com o parágrafo quarto do Art. 107 do 2º PDDUA o limite de utilização de áreas não adensáveis é de 50% sobre o total da área adensável. Para o cálculo das áreas isentas<sup>30</sup>, estipulou-se o valor de 50% sobre as áreas adensáveis. A seguir, o mapa com o resultado da revisão de valores por UEU, totalizando o potencial construtivo de 15,5 milhões de metros quadrados.

<sup>30</sup> Definidas conforme previsto no Art. 107 do 2º PDDUA de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 1999).

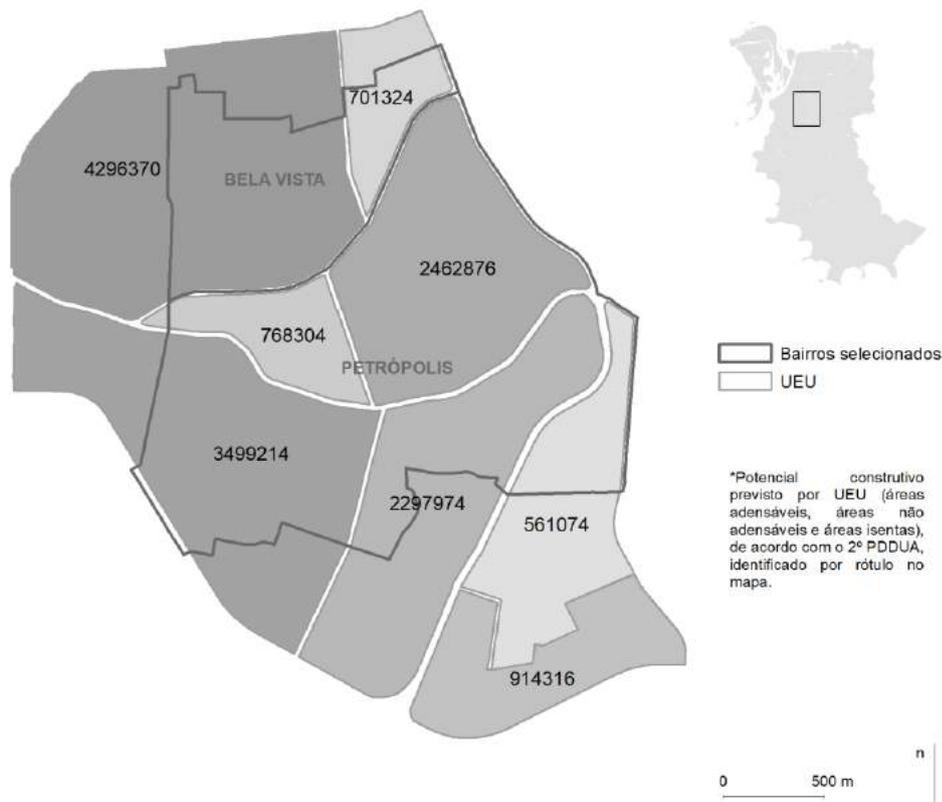


Figura 65:  
Potencial  
construtivo por  
UEU  
selecionada:  
áreas  
adensáveis,  
áreas não  
adensáveis e  
áreas isentas.

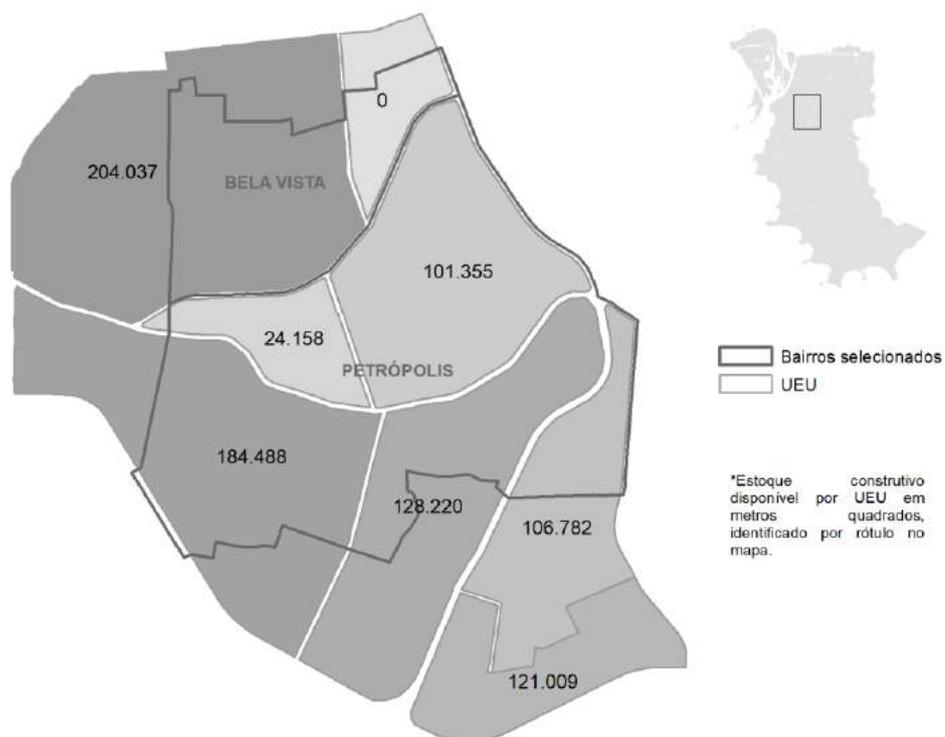
Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

### (b) Somatório dos Estoques de TPC/SC disponíveis nos Quarteirões incidentes na UEU

Apesar de previsão de IA máximos superiores aos IAs básicos para a quase totalidade das UEUs selecionadas, apenas onde há disponibilidade de estoque de TPC/SC o lote urbano pode atingir seu potencial máximo. A Figura 53 ilustra o estoque de áreas adensáveis disponível nas UEUs selecionadas, totalizando cerca de 870 mil metros quadrados:

Figura 66:  
Estoque  
SC/TPC por  
UEU  
selecionada.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



n |

Figura 67:  
Estoque  
SC/TPC por  
QTR  
selecionado.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



n |

Assim como no caso dos valores resultantes da aplicação do IA básico, os valores de Estoque se referem a áreas adensáveis, devendo ser acrescidos de áreas não adensáveis e isentas para representação do potencial real, totalizando um total de 1.74 milhões de metros quadrados (Figura 68).

Se o cálculo de valores para (a) e (b) permitiu aproximar os valores máximos previstos pelo Plano, é através do cálculo aproximado da área construída por UEU que será possível estabelecer o excedente não executado.

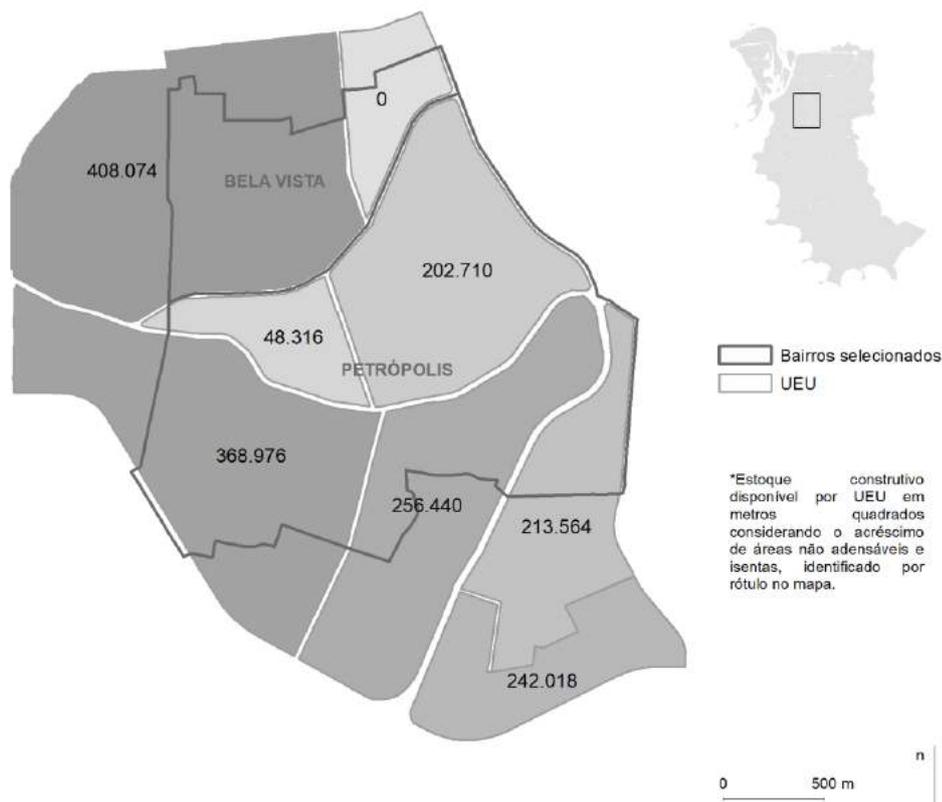


Figura 68:  
Estoque SC/TPC por UEU selecionada: áreas adensáveis, áreas não adensáveis e áreas isentas.

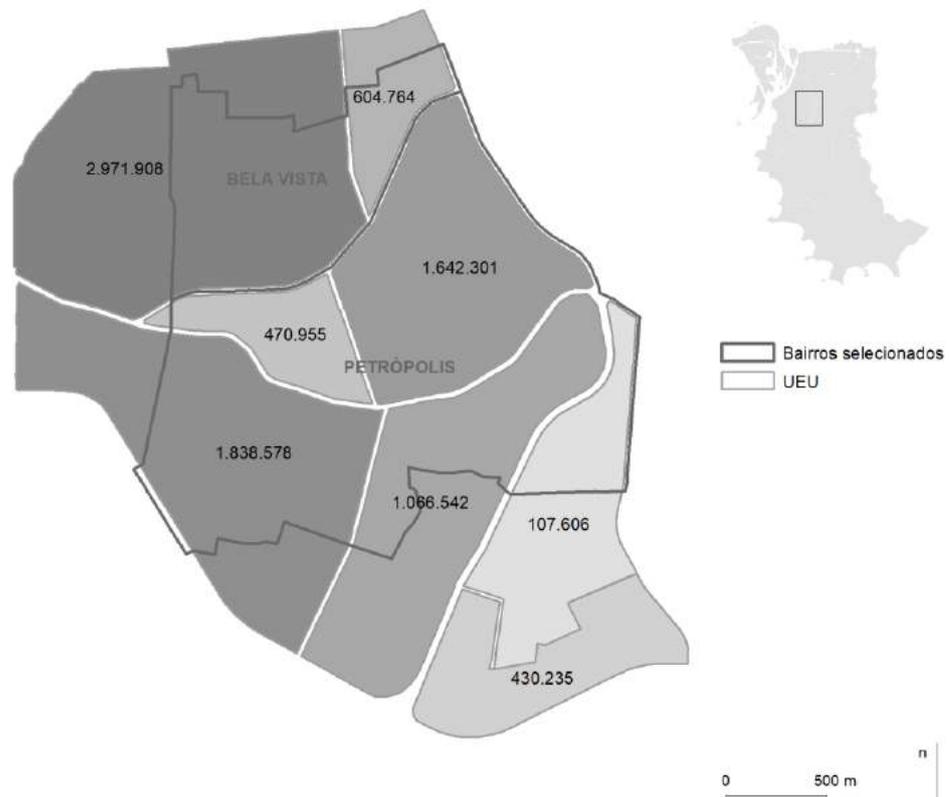
Fonte:  
Elaborada pela autora.

### (c) Aferição de Valores de Área Construída Total atualizados por UEU

Para este cálculo, foram tomadas por base as edificações vetorizadas disponíveis na base Open Street Maps<sup>31</sup> e as alturas obtidas através das informações acessadas no Google Maps/ Google Street View<sup>32</sup>. O resultado foi o cálculo aproximado de potencial construtivo executado atual<sup>33</sup> de 9,1 milhões de metros quadrados, distribuído por UEU conforme demonstrado na Figura abaixo:

Figura 69:  
Metros quadrados construídos por UEU selecionada.

Fonte:  
Elaborada pela autora.



<sup>31</sup> Base de Dados Open Street Maps. Disponível online em: <<https://www.openstreetmap.org/#map=17/-30.04311/-51.19205>>.

<sup>32</sup> Imagens obtidas através da Plataforma Google Maps. Disponível online em: <<https://www.google.com/maps/@-30.0434629,-51.1931018,16.5z>>.

<sup>33</sup> Esclarecer o ano base considerado no cenário atual.

A diferença entre o somatório de (a) + (b), e os valores aproximados calculados em (c), representa o potencial construtivo disponível por UEU, somando 10,3 milhões de metros quadrados:

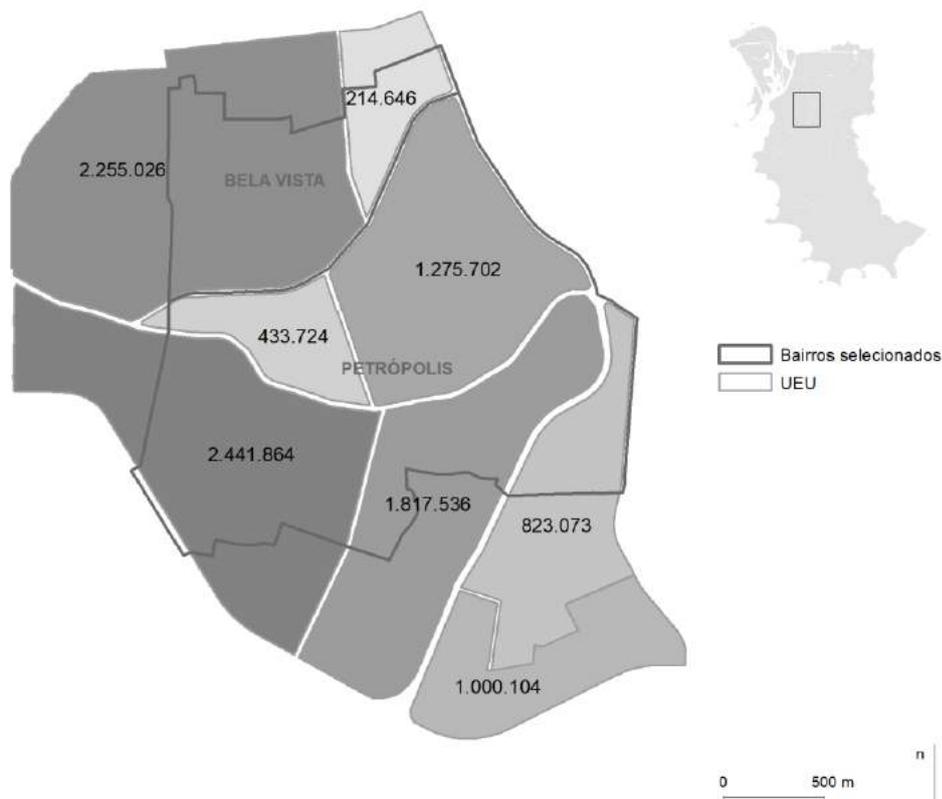


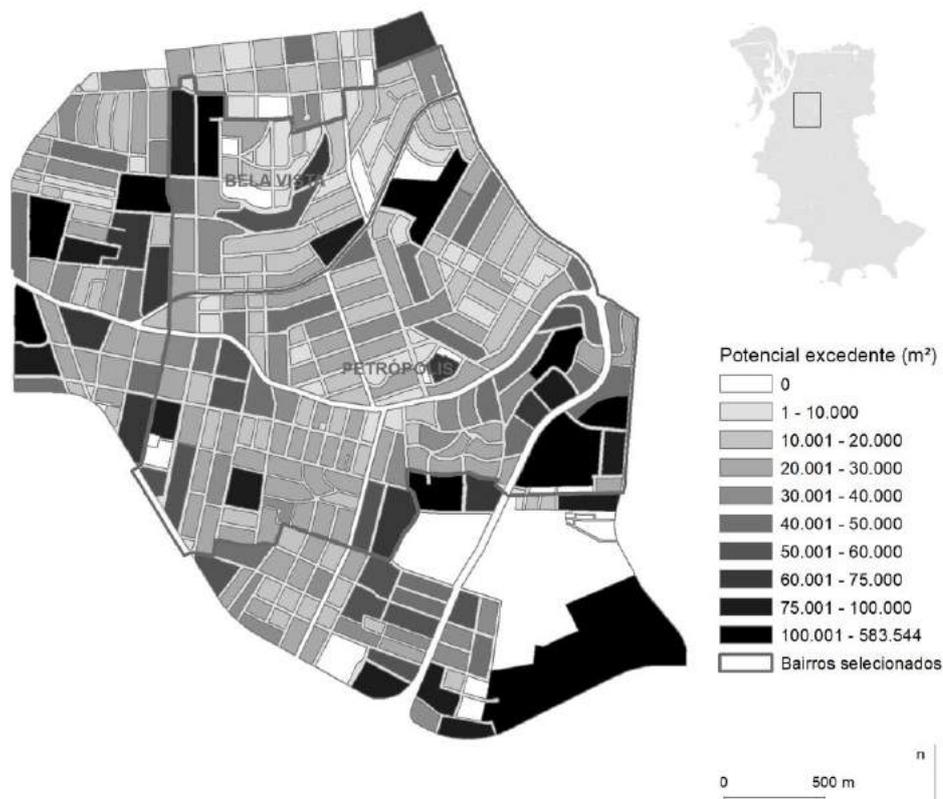
Figura 70:  
Potencial  
construtivo  
atual por UEU  
selecionada.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

O potencial construtivo excedente acessível a partir do quarteirão é demonstrado pelo mapa síntese, Figura 71.

Figura 71:  
Potencial  
construtivo  
excedente  
estimado atual  
por QTR  
selecionado.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



## CONDICIONANTES PARA A OCUPAÇÃO DA ÁREA SELECIONADA

Como visto, o potencial construtivo previsto para os lotes urbanos em Porto Alegre nem sempre pode ser atingido devido à necessidade de compatibilização das construções com elementos não previstos no Plano Diretor: restrições dadas por legislações federais, pela presença de imóveis de interesse histórico e mesmo pelas inconsistências das regras associadas ao parcelamento do solo existente. A leitura das componentes estratégica, de cima para baixo (top-down), e reguladora, de baixo para cima (bottom-up) do Plano pode ser também entendida através da estruturação macro e meso, considerando características de objetos que ultrapassam os limites do lote urbano. Neste caso, a lógica pode ser associada às escalas de agregação de componentes urbanos a partir da abordagem top-down de condicionantes a partir de restrições municipais e a partir da escala de vizinhança. A abordagem bottom-up, ou de baixo

para cima, envolve a estruturação local/micro, considerando características de objetos inseridos dentro dos limites do lote.

A escala do lote, que representa a interface da edificação com os conceitos entre as escalas macro/meso/micro, se repete em ambas as abordagens por ser entendida como uma escala de compatibilização.

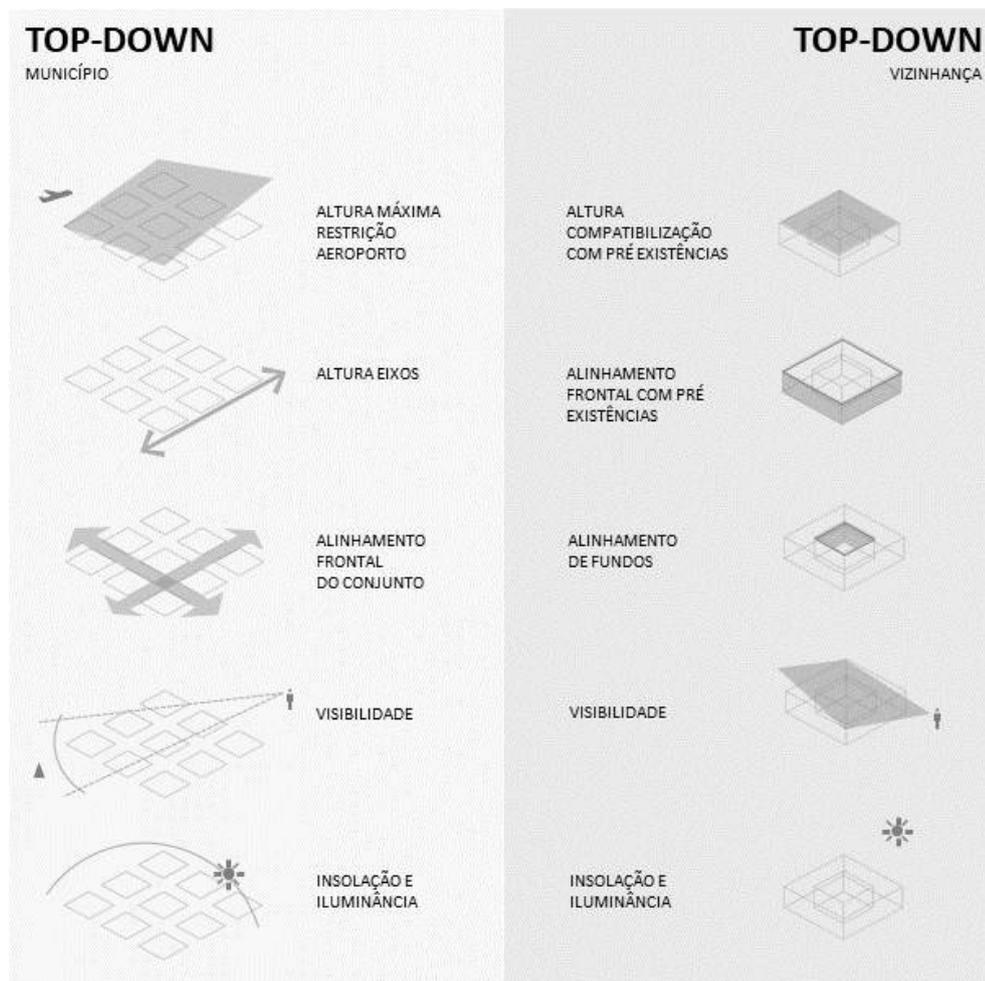


Figura 72: Elementos-chave para a estruturação do espaço urbano.

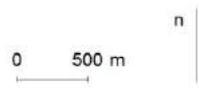
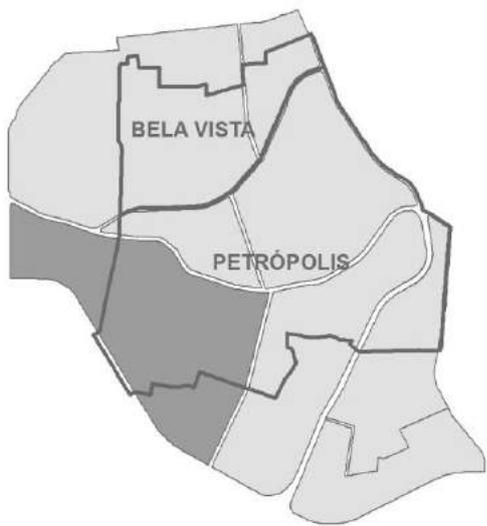
Fonte: Elaborada pela autora.

A aferição do impacto das restrições mencionadas acima na área de estudo, será realizada em parcela do território selecionada para a simulação.

Adaptando as escalas propostas por Berghauser Pont e Haupt (2009), podemos agregar objetos urbanos, na área selecionada, da seguinte forma:

- DISTRICT: a escala do District pode ser relacionada à escala das Unidades de Estruturação Urbana propostas no 2º PDDUA de Porto Alegre. As Subunidades de Estruturação Urbana foram consideradas dentro do mesmo grupo de agregação, apenas como uma variação na estrutura interna das Unidades.
- FABRIC: a escala do Fabric representa a delimitação de um conjunto de quadras específicas. Para fins da simulação proposta neste estudo, foram selecionados quarteirões dentro dos limites da UEU 56 sob a incidência de três SUBUEUs possibilitando testes do impacto da variação de parâmetros dentro dos limites da UEU.
- ISLAND: a escala da ISLAND corresponde diretamente a delimitação dos quarteirões incidentes no recorte selecionado na escala do Fabric.
- LOT: assim como a escala da ISLAND, a escala do LOT corresponde aos lotes correspondentes aos quarteirões selecionados.

A Figura a seguir ilustra as escalas aplicadas na área selecionada para simulação.



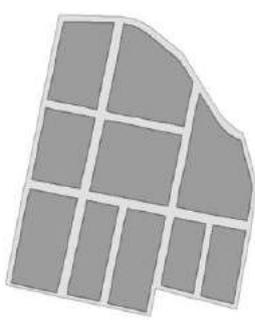
**DISTRICT  
(UEU/SUBUEU)**

1:50.000



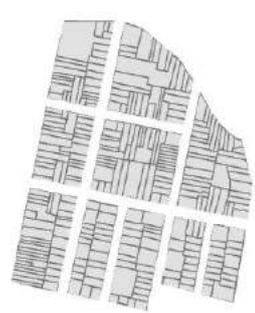
**FABRIC  
(TECIDO)**

1:50.000



**ISLAND  
(QUARTEIRÃO)**

1:15.000



**LOT  
(LOTE)**

1:15.000

Figura 73:  
Escala de agregação  
aplicadas na  
área de estudo  
selecionada.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

### 3. ESTUDO DE CASO: CENÁRIOS

Nesta pesquisa, serão construídos 4 (quatro) cenários sobre o tecido selecionado, para aplicação da metodologia proposta. Para este fim, o Capítulo de Estudo de Caso: Cenários está estruturado da seguinte forma:

3.1.

#### Canário Atual (A)

- Cenário com a ocupação atual dos quarteirões.

3.2.

#### Cenário Simulado 2º PDDUA (B e C)

- Cenário simulado de acordo com o potencial construtivo máximo possível com a aplicação das regras do 2º PDDUA sobre o parcelamento atual (B) e considerando a possibilidade de remembramento de lotes urbanos (C).

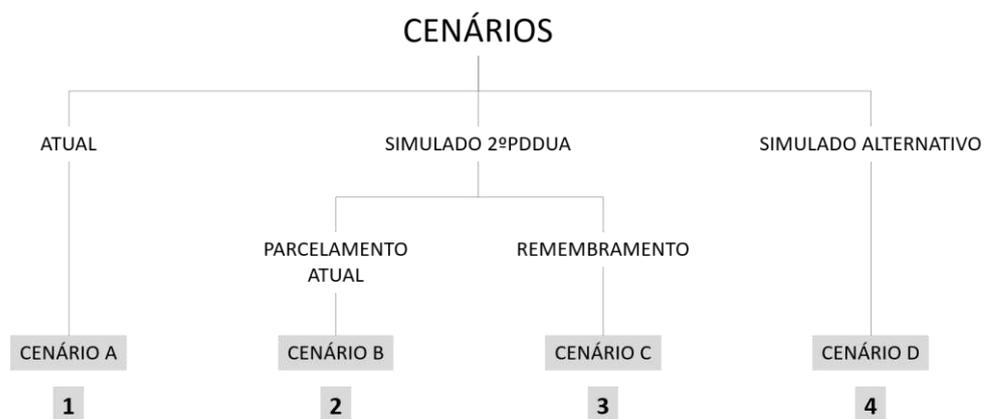
3.3.

#### Cenário Alternativo (D)

- Cenário simulado alternativo, considerando regras propostas baseadas no levantamento de condicionantes top-down a partir de duas escalas: a escala do município e a escala da vizinhança.

Figura 74:  
Estrutura de cenários simulados.

Fonte:  
Elaborada pela autora.



### 3.1. Cenário Atual (A)

#### PADRÕES DA OCUPAÇÃO ATUAL

O diagrama Spacemate (Berghauser Pont e Haup, 2009) possibilita o agrupamento de diferentes volumes edificados de acordo com padrões que, em tese, podem ser relacionados a diferentes formas edificadas ou o *DNA Espacial* (Ibid., p. 98). A localização de objetos urbanos dentro do Diagrama Spacemate utiliza dois indicadores básicos e dois indicadores derivados, respectivamente, FSI/GSI e OSR/L. No eixo y, o FSI indica a intensidade de construção em determinada área. No eixo x, o GSI indica a cobertura ou compacidade da construção. Os indicadores derivados OSR e L são gradientes sobrepostos ao diagrama. Os dados de OSR representam o espaço não edificado, enquanto o L representa a média do número de pavimentos (Figura 75).

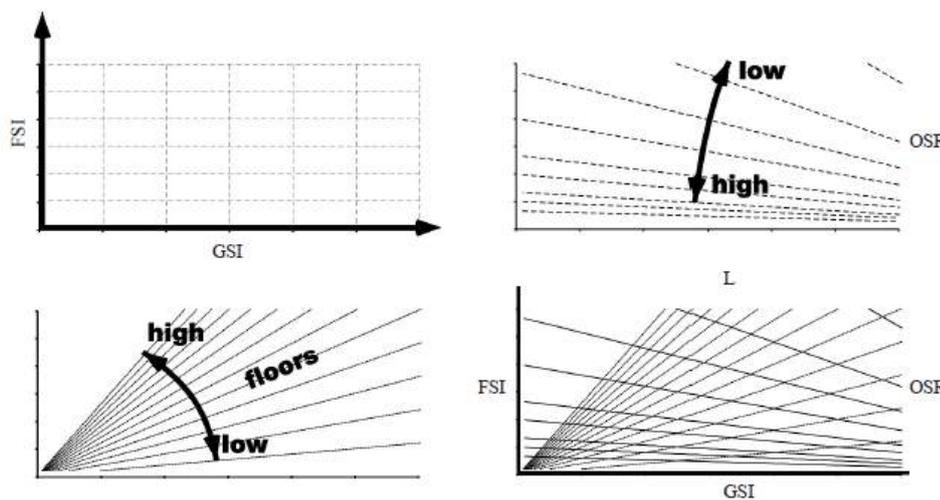


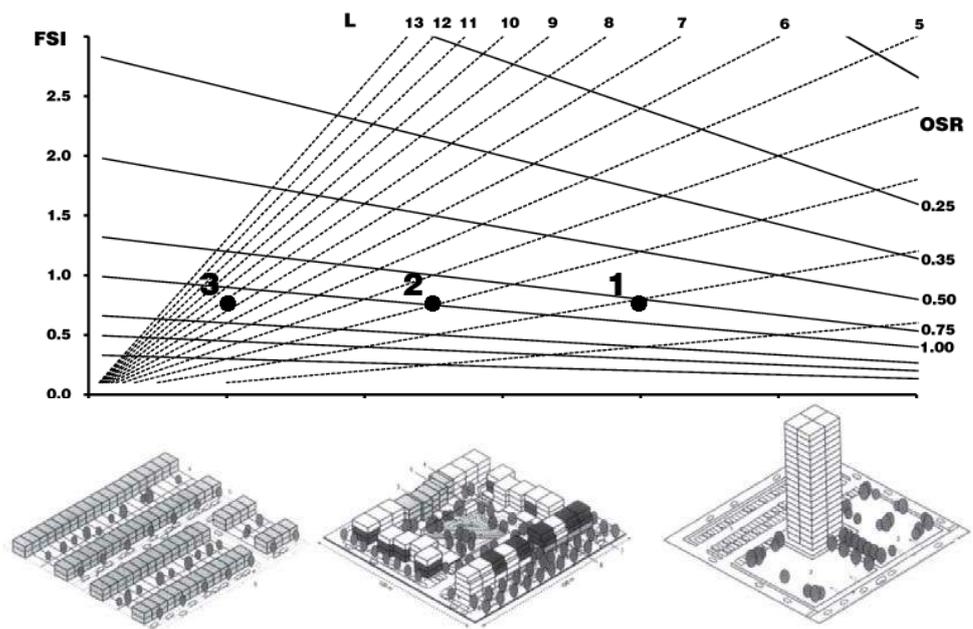
Figura 75:  
Sistematização  
de indicadores  
no Diagrama  
Spacemate.

Fonte:  
KICKERT et  
al, 2014,  
p.77.

Van Nes et al (2012), apresenta duas ilustrações demonstrando o potencial do Diagrama na leitura de diferentes formas edificadas. O primeiro (Figura 63), explora o potencial do uso do Diagrama para identificar diferentes formas com o mesmo IA (mesmo FSI). Neste caso, os pontos mantêm-se em uma linha horizontal em função do IA constante,

mas apresentam variação nos demais indicadores - TO (GSI), número de pavimentos (L) e disponibilidade de espaço aberto (OSR). O segundo (Figura 64), demonstra a tentativa de estabelecer uma classificação de tipos edifícios através da associação de tipos edifícios com intervalos de valores no Diagrama.

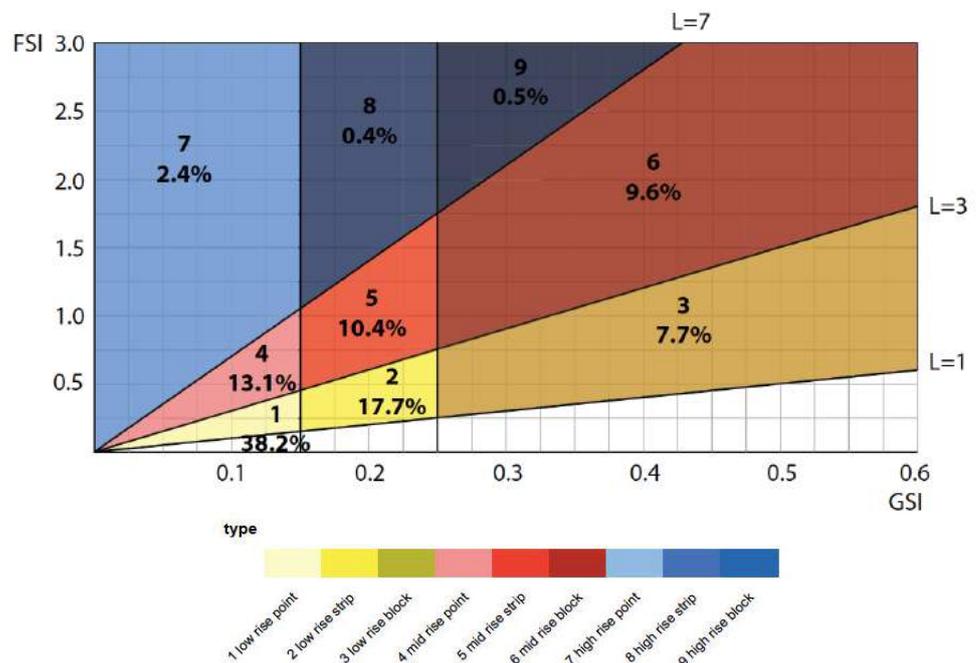
Figura 76: Diferentes tipologias (da esquerda para direita, 1-3) com potencial construtivo equivalente localizadas no Diagrama Spacemate.



Fonte: van NES et al, 2012, p.4.

Figura 77: Delimitação de 9 (nove) tipologias básicas a partir do Diagrama Spacemate.

Fonte: Adaptado de van NES et al, 2012, p. 14.



Além da leitura de valores absolutos, associada à identificação de diferentes tipologias, os autores também propõem o uso do Spacemate na leitura de valores relativos (BERGHAUSER PONT e HAUPT, 2009). A Figura abaixo ilustra duas situações de ocupação de um mesmo quarteirão: em [1] uma ocupação com relativa homogeneidade, variando apenas em altura; e em [2] uma ocupação com relativa heterogeneidade, variando em altura e cobertura do solo. No diagrama, a posição relativa entre o quarteirão e seus componentes (lotes), formam aglomerados maiores ou menores em torno do centro de gravidade estabelecido pelo quarteirão. No caso de repetição de valores e, portanto, grande homogeneidade da ocupação, as posições de cada componente e a média do quarteirão tendem a coincidir. A heterogeneidade da área é representada, portando, pelo tamanho da propagação e/ou pela aglomeração de componentes. A heterogeneidade da ocupação pode, desta forma, ser diretamente relacionada à dispersão<sup>34</sup> dos componentes com relação às escalas de agregação em que estão contidos. Por outro lado, a homogeneidade da ocupação pode ser associada à tendência central<sup>35</sup> de localização destes componentes com relação às escalas de agregação.

Com base nos conceitos apresentados, a identificação de padrões de ocupação utilizando o Diagrama Spacemate, proposta nesta pesquisa para a descrição da situação existente e apoio na avaliação de alternativas à ocupação atual, se dará através da análise dos 2 (dois) aspectos: (i) a descrição de tipologias, a partir da leitura de valores absolutos; e (ii) a análise da homogeneidade/heterogeneidade da

---

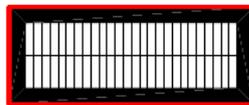
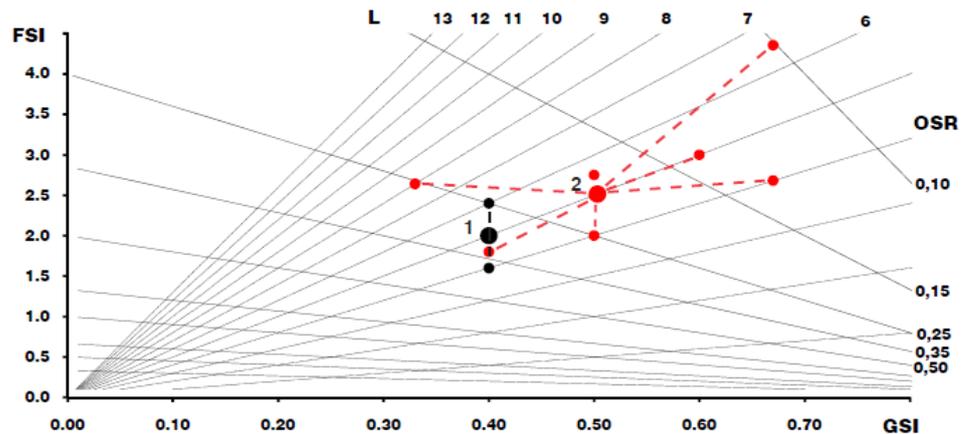
<sup>34</sup> Nesta pesquisa, o termo “dispersão” é utilizado de acordo com o conceito utilizado em estatística em que as medidas de dispersão servem para indicar o “quanto os dados se apresentam dispersos em torno da região central”, caracterizando o grau de variação existente em um conjunto de valores (BALIEIRO, 2009).

<sup>35</sup> Da mesma forma que “dispersão”, o termo “tendência central” também é utilizado de acordo com o conceito estatístico de medida de posição, caracterizando a distribuição de dados brutos (ou das frequências) sobre o eixo de variação dos valores em questão (BALIEIRO, 2009).

ocupação, a partir da leitura de valores relativos. Em ambos os casos, a base para a análise comparativa será o Cenário Atual (A).

Figura 78;  
Dois modelos  
de quarteirão  
de perímetro  
fechado com  
variações na  
ocupação.

Fonte:  
BERGHAUSER  
PONT e  
HAUPT; 2009,  
p. 101.



[1] Relative homogeneity  
Variation in height



[2] Relative heterogeneity  
Variation in height and coverage

### (i) Descrição de Tipologias

A descrição de tipologias presentes na ocupação atual envolve o levantamento dos indicadores e posterior visualização dos valores por escala de agregação - tecido, quarteirão e lote - no Diagrama Spacemate. Utilizando as bases de dados disponibilizadas online pela PMPA<sup>36</sup> e pelo

<sup>36</sup> Mapas Digitais Oficiais - Secretaria do Meio Ambiente e da Sustentabilidade. Disponível online em: <[http://www2.portoalegre.rs.gov.br/spm/default.php?p\\_secao=310](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/spm/default.php?p_secao=310)>.

site Open Street Maps<sup>37</sup>, a ocupação atual foi simulada dentro do ambiente CityZoom<sup>38</sup> (Figuras 66 e 67).



Figura 79:  
Identificação  
dos  
quarteirões  
seleccionados.

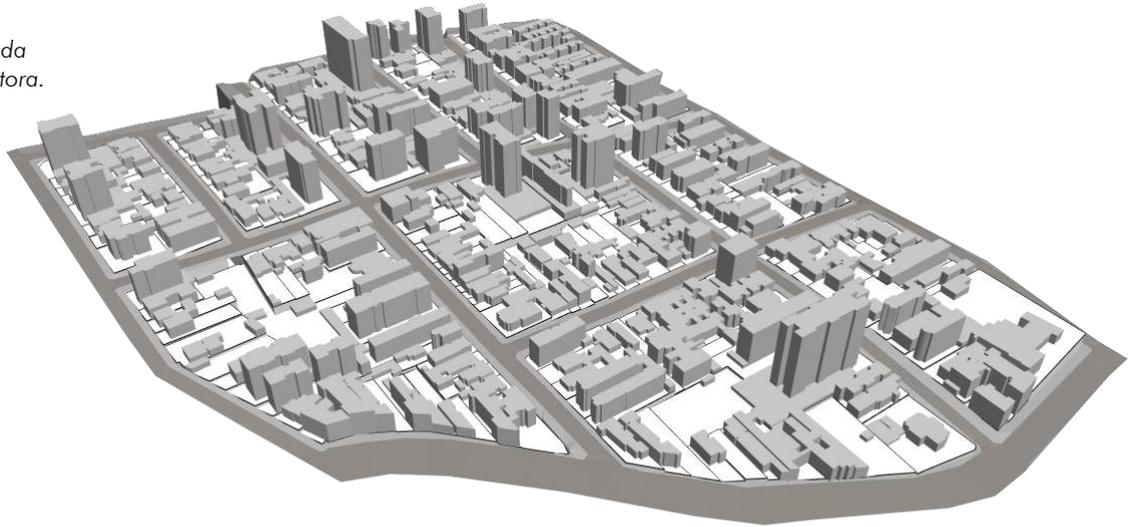
Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

<sup>37</sup> Base de Dados Open Street Maps. Disponível online em: <https://www.openstreetmap.org/#map=17/-30.04311/-51.19205>.

<sup>38</sup> CITYZOOM, Decision Support System for Urban Planning. Version 2.0. Núcleo de Tecnologia Urbana, NTU | UFRGS. Software; 2019.

Figura 80:  
Quarteirões  
selecionados  
no ambiente  
CityZoom.

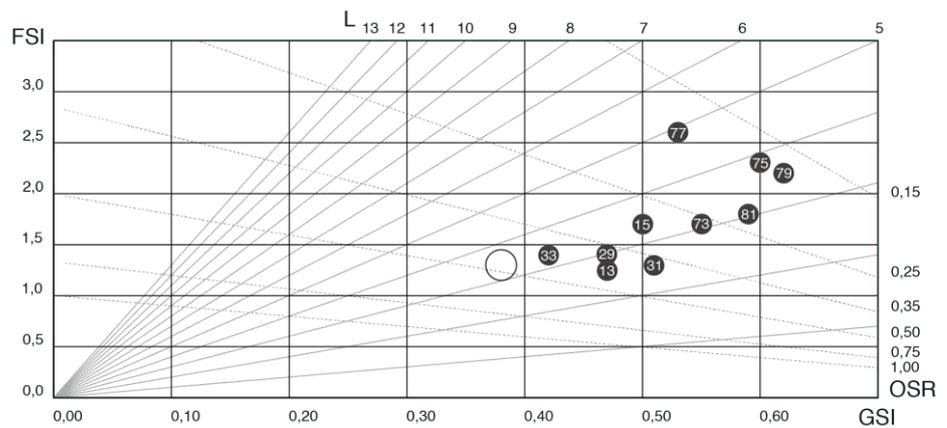
Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

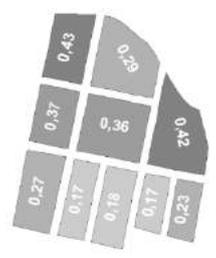
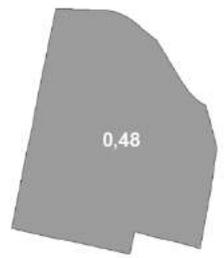
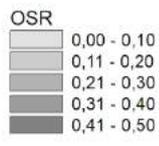
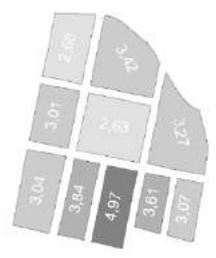
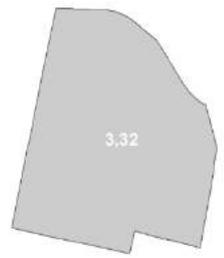
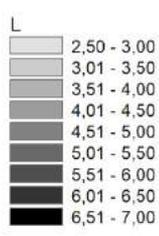
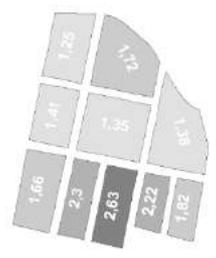
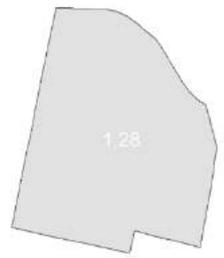
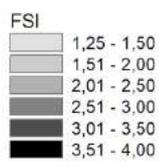
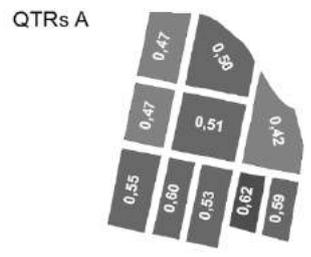
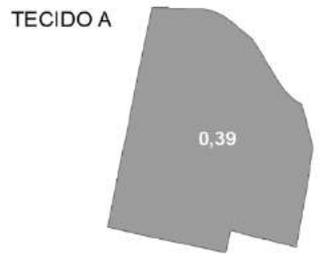
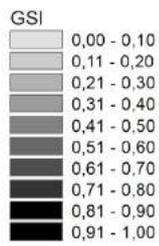


A Figura 68 ilustra os valores correspondentes aos indicadores básicos e derivados para as escalas de agregação do tecido e das ilhas dentro da área de estudo. Na sequência, a Figura 81 e a Figura 82 apresentam a localização dos quarteirões analisados dentro do Diagrama Spacemate e a visualização da ocupação destes quarteirões a partir do modelo construído em 2D e 3D.

Figura 81:  
Localização  
dos  
quarteirões  
selecionados  
no Diagrama  
Spacemate.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.





GSI: Taxa de Ocupação  
 FSI: Índice de Aproveitamento  
 L: Altura  
 OSR: Índice de Espaço Aberto

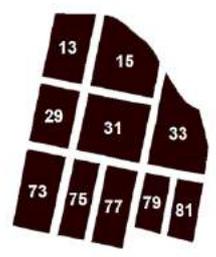


Figura 82: Indicadores aplicados na área de estudo para as escalas de agregação identificadas.

Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 83:  
Quarteirões  
selecionados.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



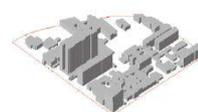
TECIDO



QTR 13



QTR 15



QTR 29



QTR 31



QTR 33



QTR 73



QTR 75



QTR 77



QTR 79



QTR 81



Utilizando a classificação tipológica proposta por van NES et al (2012), temos a seguinte leitura a partir da localização dos quarteirões selecionados para o estudo no Diagrama Spacemate:

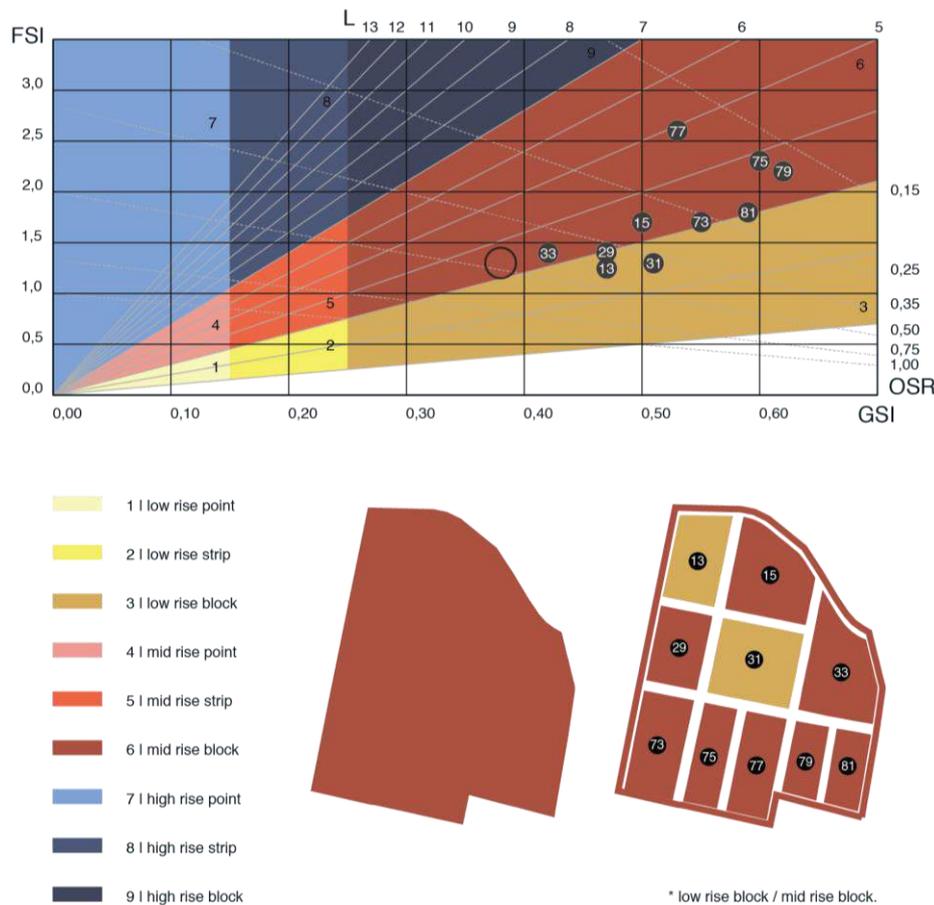


Figura 84:  
Tecido e  
Quarteirões  
selecionados  
sobre a  
classificação  
tipológica  
proposta por  
van NES.

Fonte:  
Adaptado de  
van NES;  
BERGHAUSE  
R PONT;  
MASHHOODI,  
2012, p.  
14.

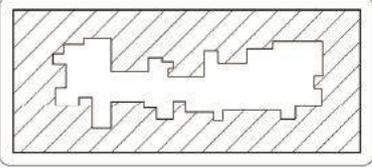
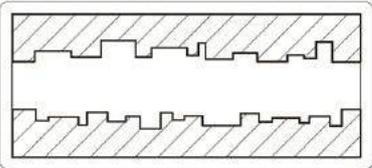
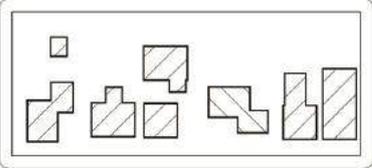
De acordo com as tipologias propostas por Martin e March (1972)<sup>39</sup>, três tipos básicos de quarteirão modelo podem ser identificados e correlacionados com a descrição tipológica proposta por van NES (2012):

<sup>39</sup> Em Urban spaces and structures, Martin e March (1972) estabelecem um módulo tridimensional básico que associado a geratrizes no quarteirão resultam em três tipologias padrão: pavilhão; lâmina; e pátio.

Tabela 11:  
Classificação  
de acordo com

a morfologia  
do quarteirão.

Fonte:  
Adaptado de  
C C Kickert, M  
Berghauser  
Pont, M Nefs  
(2012).

Tipo	Descrição	Exemplo
Tipo Pátio  Quarteirão com perímetro fechado	Neste tipo, todas as faces da quadra apresentam construções alinhadas, cobrindo o perímetro do quarteirão.  As construções formam blocos únicos ou com uma combinação de base e torre na parte superior.	
Tipo Lâmina  Edifícios em faixa	Neste tipo, as edificações se organizam alinhadas no quarteirão, de forma paralela, deixando área livre nas faces opostas ao alinhamento das edificações.  Os tipos de construção variam de casas geminadas a edifícios em altura.	
Tipo Pavilhão  Edificações dispersas	Neste tipo, as edificações são distribuídas no quarteirão de forma mais difusa, sem alinhamento com as faces do quarteirão ou mesmo entre edificações.	

A posição do tecido e dos quarteirões no Diagrama demonstra uma maior correlação entre a forma da ocupação atual dos quarteirões de Porto Alegre e o modelo low rise e mid rise block ou tipo pátio, de baixa e média densidade. A representação da área de análise de acordo com o mapa de figura e fundo com base na projeção das edificações, entretanto, demonstra uma maior relação da ocupação existente com o modelo de ocupação dispersa. O motivo desta inconsistência reside no modelo de ocupação previsto no 2º PDDUA.



Figura 85:  
Figura e fundo  
com base na  
projeção das  
edificações na  
área de  
estudo.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

De acordo com as regras estabelecidas pelo atual Plano Diretor de Porto Alegre são possíveis três tipologias edilícias básicas: (I) divisa; (II) corpo isolado; e (III) base e corpo.

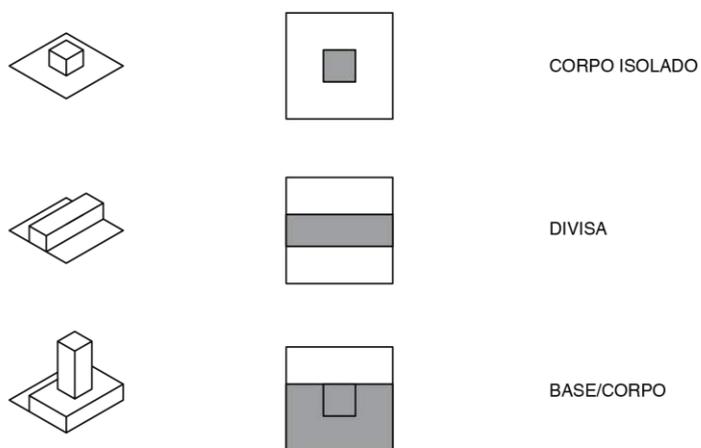


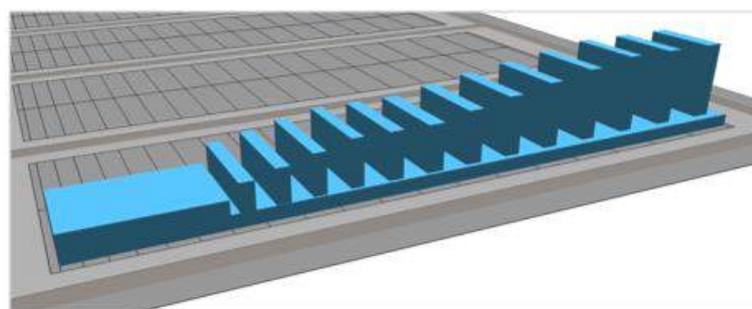
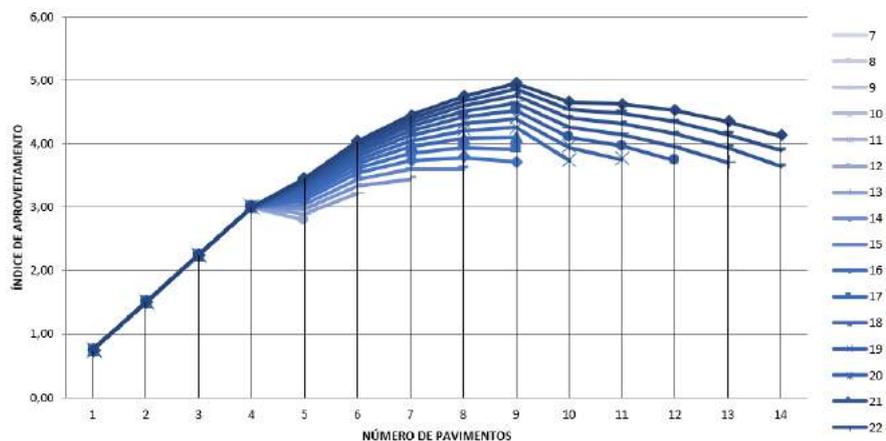
Figura 86:  
Padrões  
tipológicos  
definidos pelo  
2º PDDUA de  
Porto Alegre.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

A opção pela tipologia I, II ou III está diretamente vinculada à forma do lote quando a intenção é atingir o potencial construtivo máximo do terreno (TURKIENICZ, 1994). ANZOLCH (2000) propõe a utilização de um ábaco para correlação do desempenho construtivo de cada uma das tipologias de acordo com a variação da testada do lote em metros. Abaixo, o ábaco aplicado na avaliação do desempenho de testadas, a partir da aplicação dos parâmetros construtivos previstos no 2º PDDUA<sup>40</sup>. Sobrepondo as testadas com a melhor performance na avaliação de desempenho das três tipologias com relação ao potencial construtivo, temos o que segue na Figura abaixo. De acordo com os resultados, em um conjunto de lotes com testada de 7 a 25m, temos a melhor performance da tipologia I na testada de 12m e das tipologias II e III na testada de 25m.

Figura 87:  
Desempenho das regras do 2º PDDUA de acordo com a variação da testada em metros.

Fonte:  
Elaborada pela autora.



<sup>40</sup> Selecionado o regime urbanístico de maior densidade dentro dos limites da área de estudo, conforme os códigos: DENSIDADE 17, ATIVIDADE 5; ÍNDICE 17 e VOLUMETRIA 11.

As métricas de lotes com a melhor performance na realização do potencial construtivo previsto no Plano<sup>41</sup> foram utilizadas para a configuração de 2 (dois) quarteirões padrão para aplicação das 3 (três) tipologias e testes no Diagrama Spacemate (Figura 75 e 76).

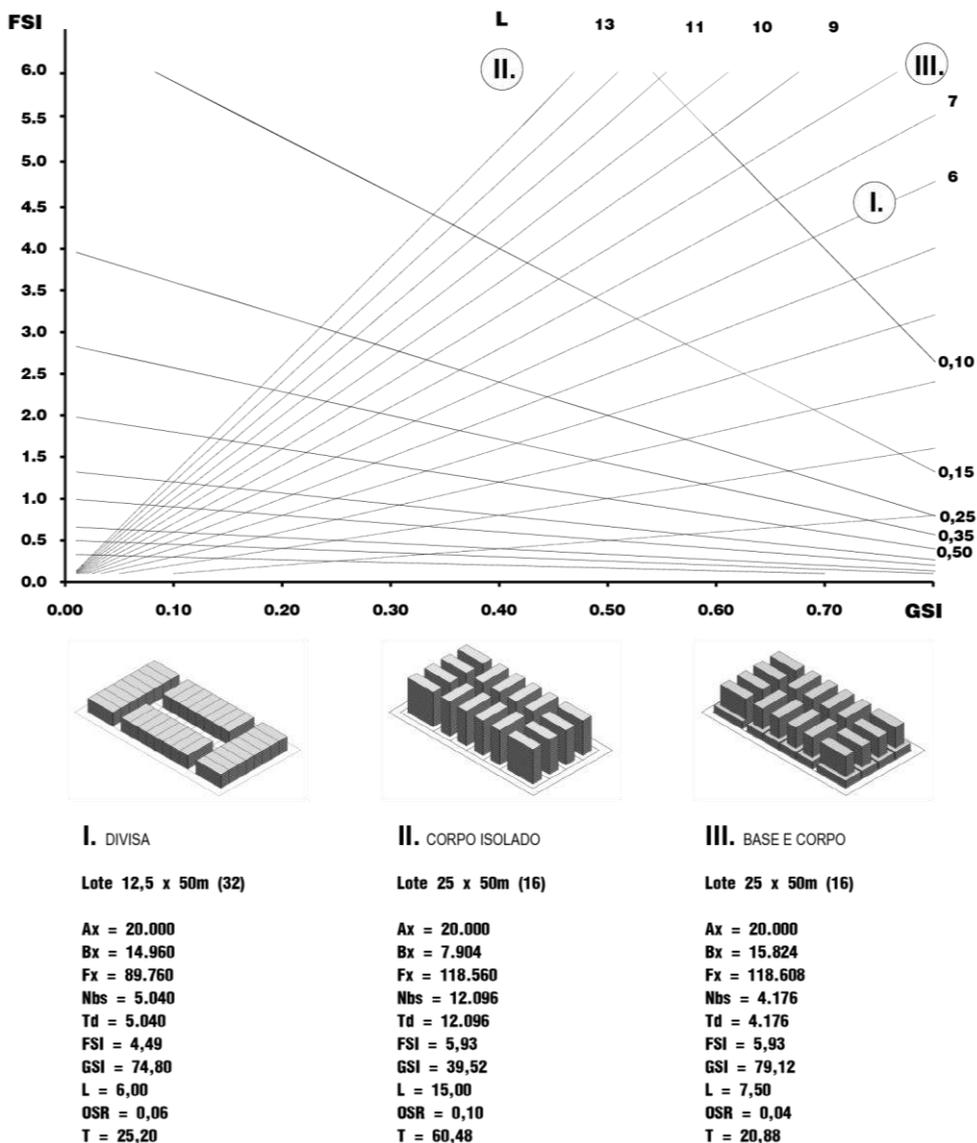


Figura 88: Quarteirões modelo de acordo com o desempenho das tipologias padrão.

Fonte: Elaborada pela autora.

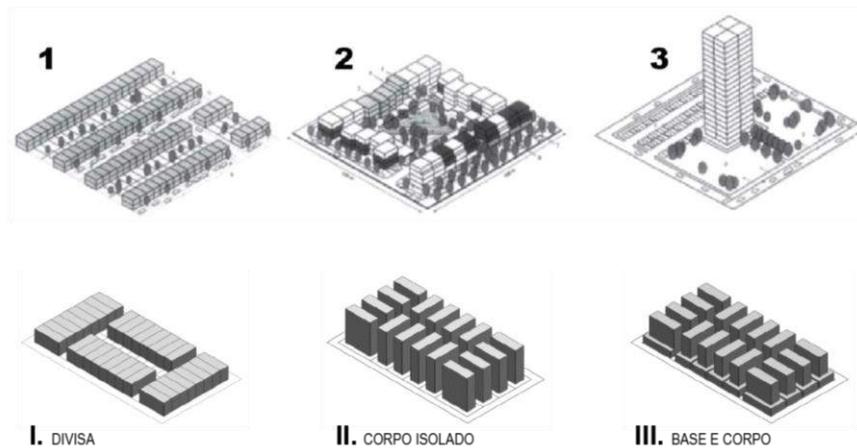
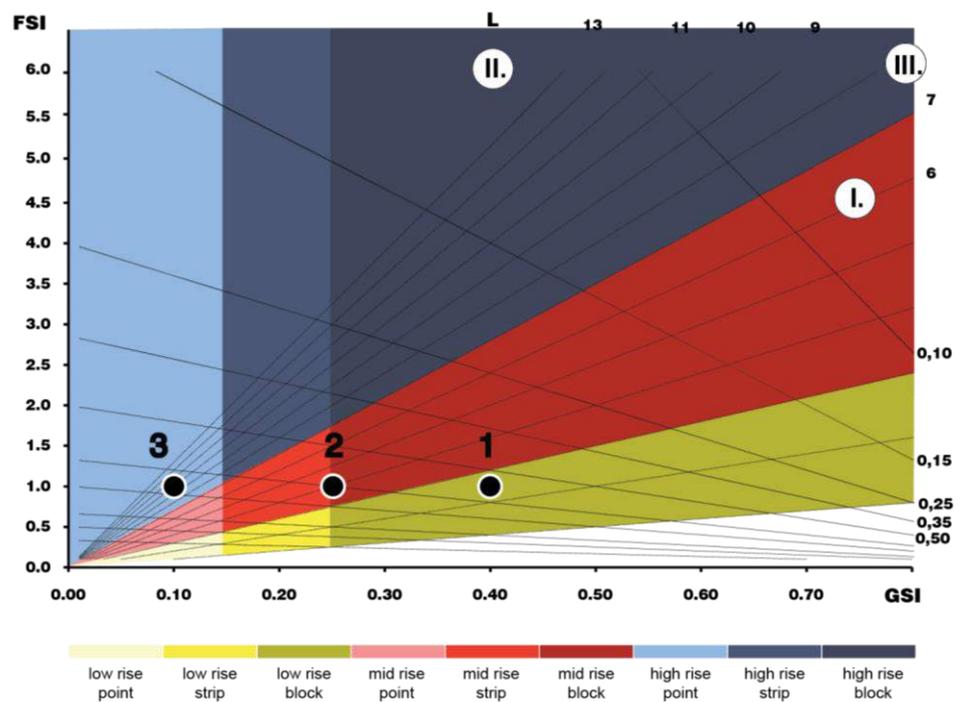
Onde: Ax = base land area em m<sup>2</sup>; Bx = footprint em m<sup>2</sup>/ Fx = gross floor area em m<sup>2</sup>; Nbs = non built space em m<sup>2</sup>; T = tare difference em m<sup>2</sup>; FSI = building intensity em m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>; GSI = coverage em %; L = building height em m; OSR = spaciousness em m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>; T = tare em %.

<sup>41</sup> Adotando-se para a tipologia DIVISA o lote padrão de 12,5m (testada) x 50m (profundidade); e para as tipologias CORPO ISOLADO e BASE CORPO o lote padrão de 25m (testada) x 50m (profundidade).

A visualização da posição dos quarteirões modelo no Diagrama evidencia a principal inconsistência tipo morfológica do modelo do 2º PDDUA: ao tentar reproduzir a lógica do modelo do edifício isolado sobre o parcelamento através de regras de recuo cria-se um híbrido que não é capaz nem de implantar o modelo do edifício isolado, nem de consolidar a tendência da ocupação do quarteirão de acordo com o modelo tipo pátio.

Figura 89: Quarteirões modelo e classificação tipológica proposta por van NES (2012).

Fonte: Elaborada pela autora.



A Figura 77 demonstra o enquadramento dos modelos propostos pelo 2º PDDUA no Diagrama Spacemate, relacionado da seguinte forma o modelo do Plano e as tipologias delimitadas no gráfico: (I) divisa e mid rise block; (II) corpo isolado e high rise block; e (III) base e corpo como uma tipologia localizada entre as duas classificações anteriores.

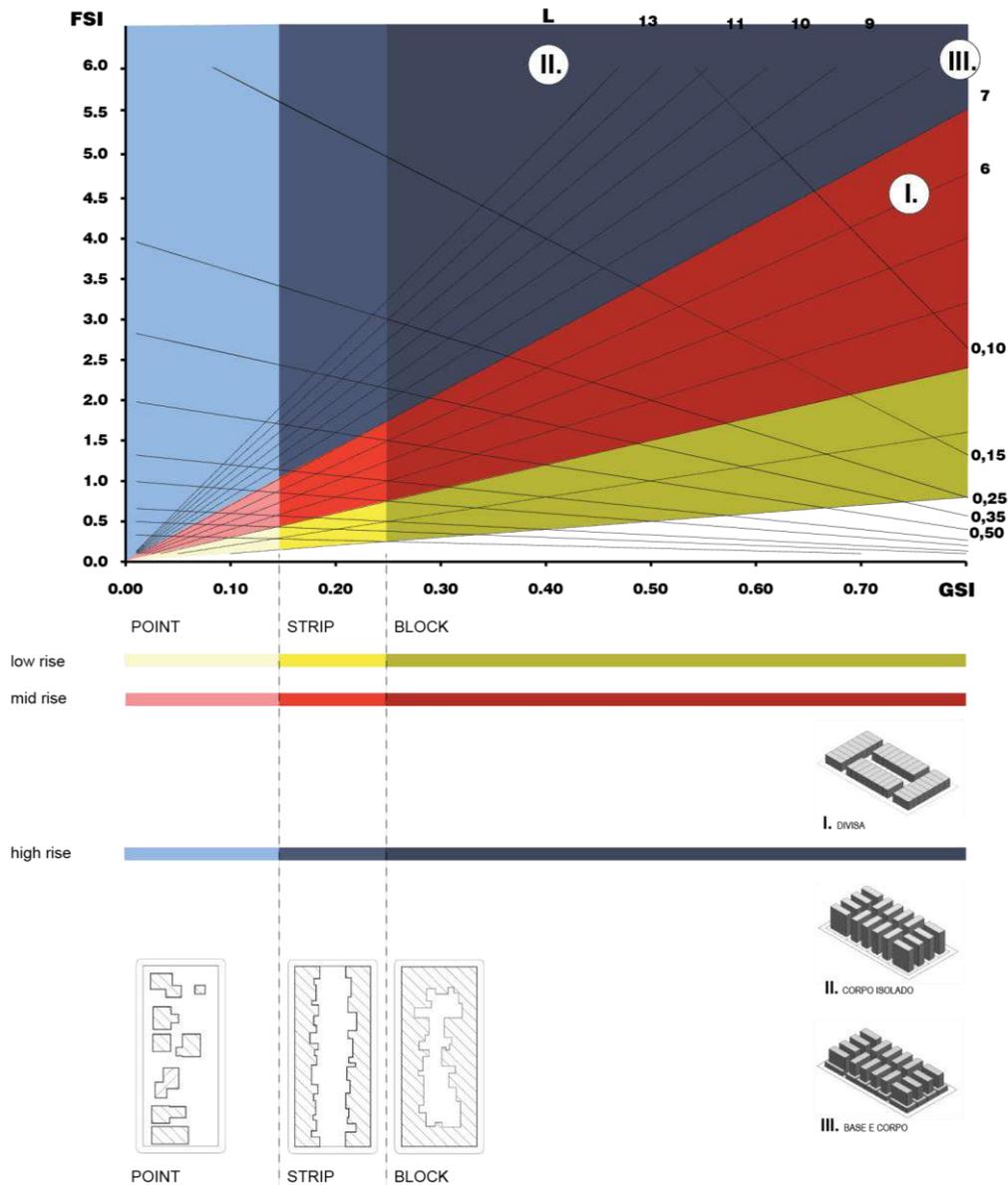


Figura 90: Quarteirões modelo e classificação tipológica.

Fonte: Elaborada pela autora.

Apesar dos quarteirões simulados de acordo com a ocupação atual incidirem, em sua maioria (Figura 71), sobre o intervalo associado à tipologia do tipo pátio, o que se nota por lote no quarteirão é uma grande variedade tipológica. A aplicação dos dispositivos de controle volumétrico das edificações vinculados à dimensão dos lotes acabou por determinar uma sistemática randomização na escolha de tipologias. Neste cenário, lotes estreitos tendem a ser ocupados por edifícios baixos e lotes com testadas largas geralmente edifícios altos. Soma-se à heterogeneidade na geometria dos lotes a volatilidade da estrutura de parcelamento do solo, uma vez que ações de remembramento e desmembramento acabam contribuindo para aumentar a imprevisibilidade quanto à escolha tipológica. A estrutura física espacial passou a ser gerada a partir da distribuição aleatória das dimensões dos lotes de cada quadra urbana.

Ao se analisar a posição dos lotes individuais no Diagrama, fica evidente esta diversidade tipológica dentro dos quarteirões de estudo (Figuras 78 e 79). A Figura 80 apresenta a visualização tridimensional da classificação proposta, na qual é possível perceber a necessidade de calibragem do modelo. A calibragem torna-se especialmente necessária para identificação das diferenças tipológicas nos resultados classificados na categoria 6 | mid rise block ou tipo pátio de média altura.

Figura 91:  
Lotes com  
classificação  
tipológica  
proposta por  
van NES no  
Diagrama  
Spacemate.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

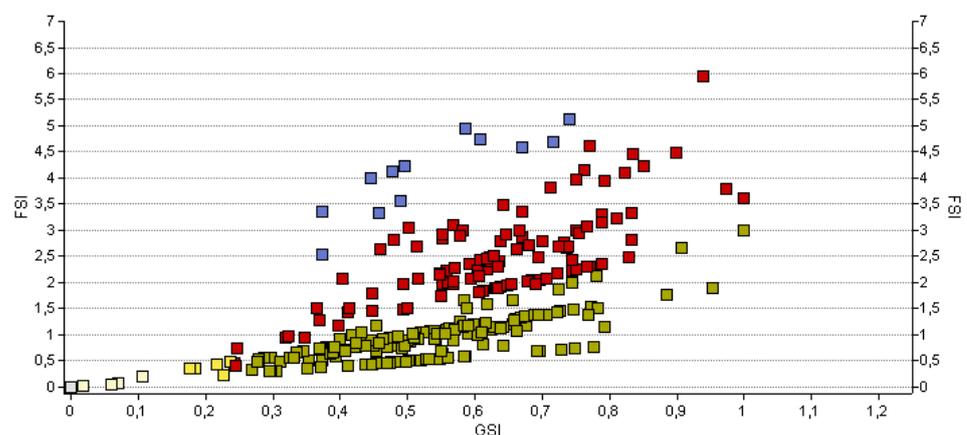




Figura 92:  
Lotes com  
classificação  
tipológica  
proposta por  
van NES.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

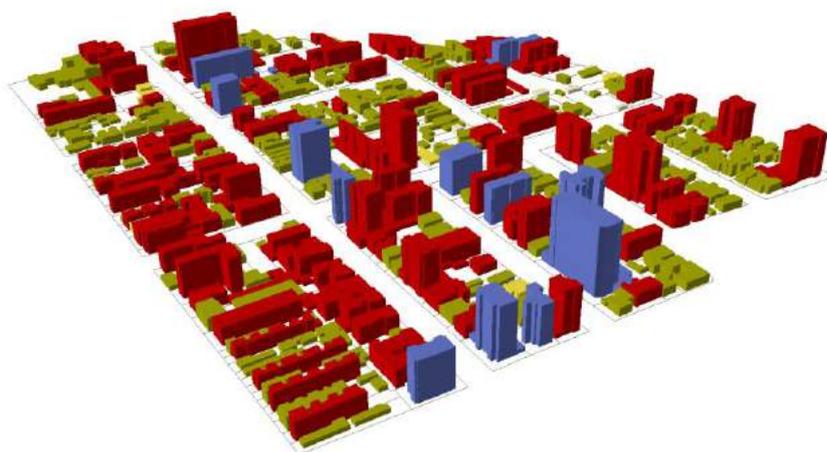


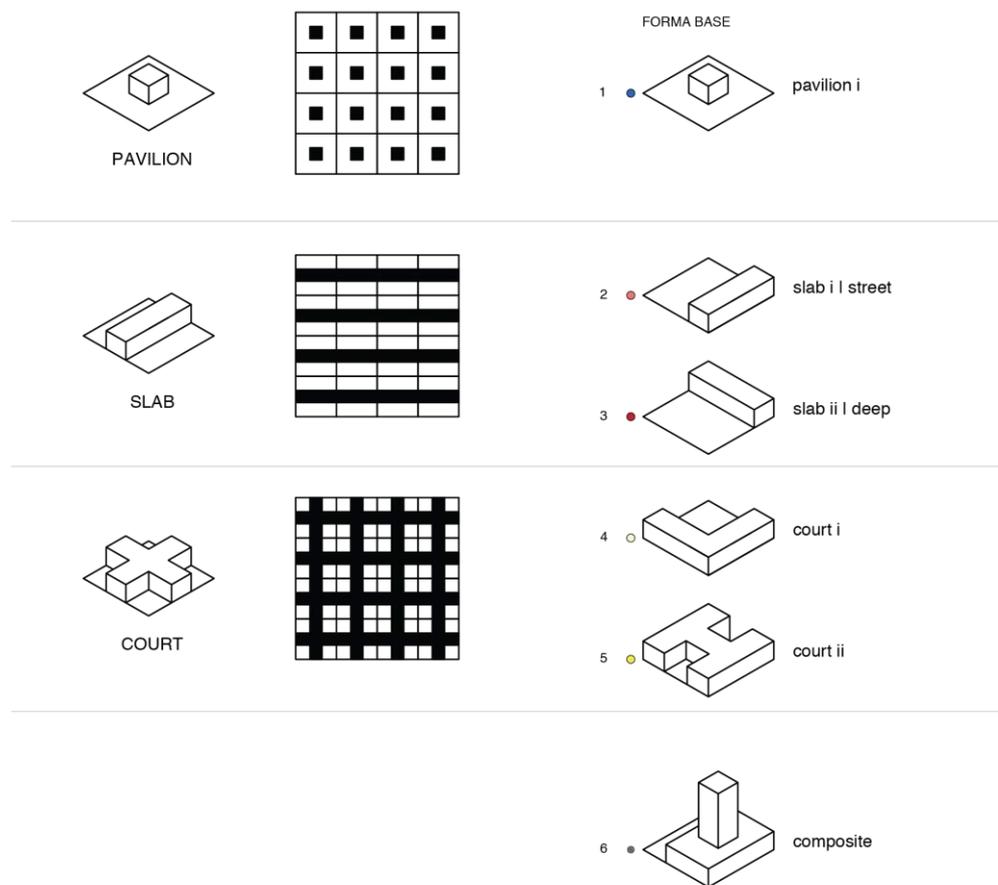
Figura 93:  
Lotes com  
classificação  
tipológica  
proposta por  
van NES em  
visualização  
3D.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

A classificação de tipos de acordo com a situação existente para os quarteirões selecionados, é proposta utilizando como base os tipos apresentados por Martin e March (1972) adaptados de acordo com os tipos propostos no 2º PDDUA (Figura 81):

Figura 94:  
Classificação  
tipológica  
proposta para  
a área de  
estudo.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



A classificação das edificações para a área de estudo selecionada utilizando os 6 (seis) tipos apresentados na Figura 80, resultaram nas seguintes leituras no gráfico Spacemate (Figura 82):

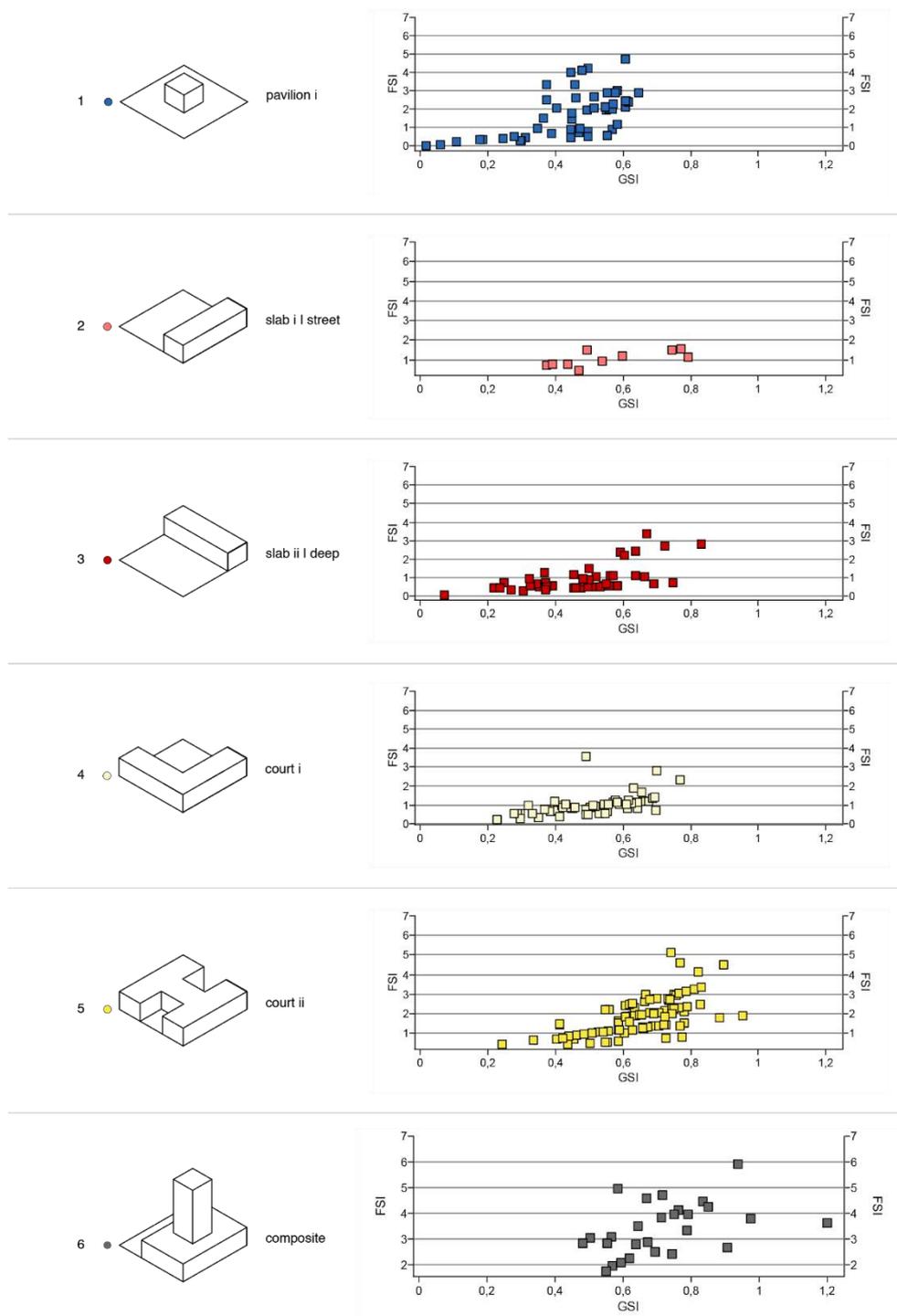


Figura 95: Tipologias identificadas no recorte selecionado e posição no Diagrama Spacemate.

Fonte: Elaborada pela autora.

As Figuras abaixo ilustram a distribuição dos 6 (seis) tipos definidos nos quarteirões selecionados dentro dos limites da área de estudo:

Figura 96:  
Tipologias  
identificadas  
na área de  
estudo.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

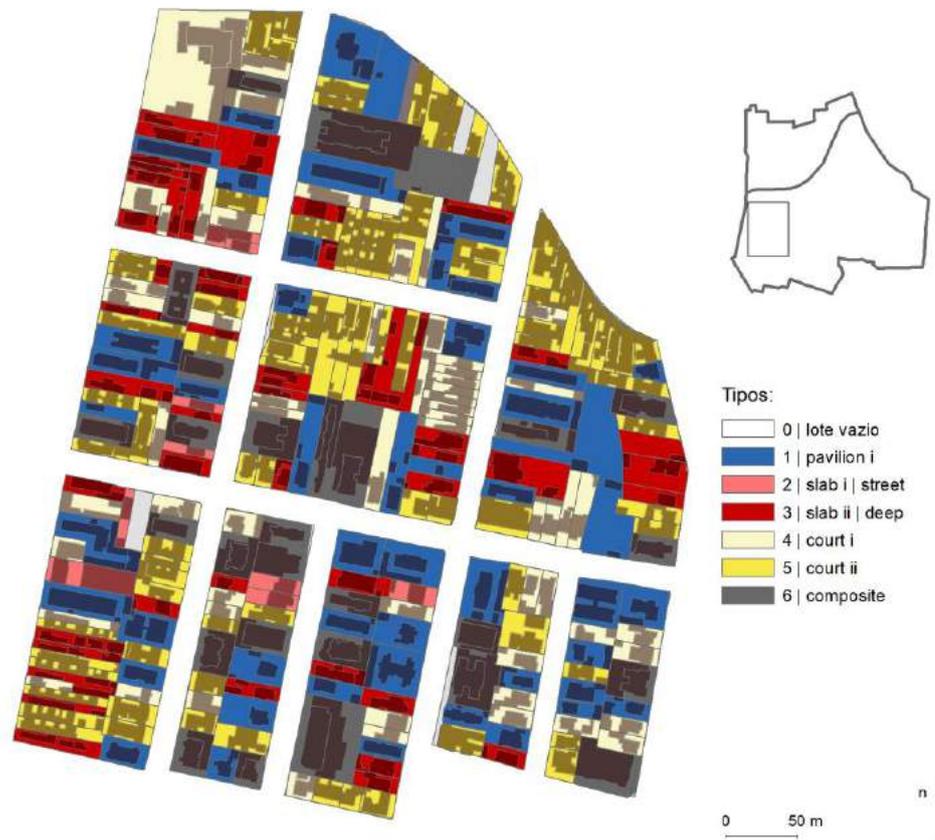


Figura 97:  
Tipologias  
identificadas  
na área de  
estudo.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



A avaliação das edificações com maior potencial de permanência dentro da área de análise, baseou-se em dois critérios: (a) edificações inventariadas e de interesse histórico; e (b) edificações com área construída equivalente a 50% ou mais do potencial construtivo executado. Selecionando apenas os lotes correspondentes a estes parâmetros, temos as tipologias apresentadas nas Figuras a seguir:

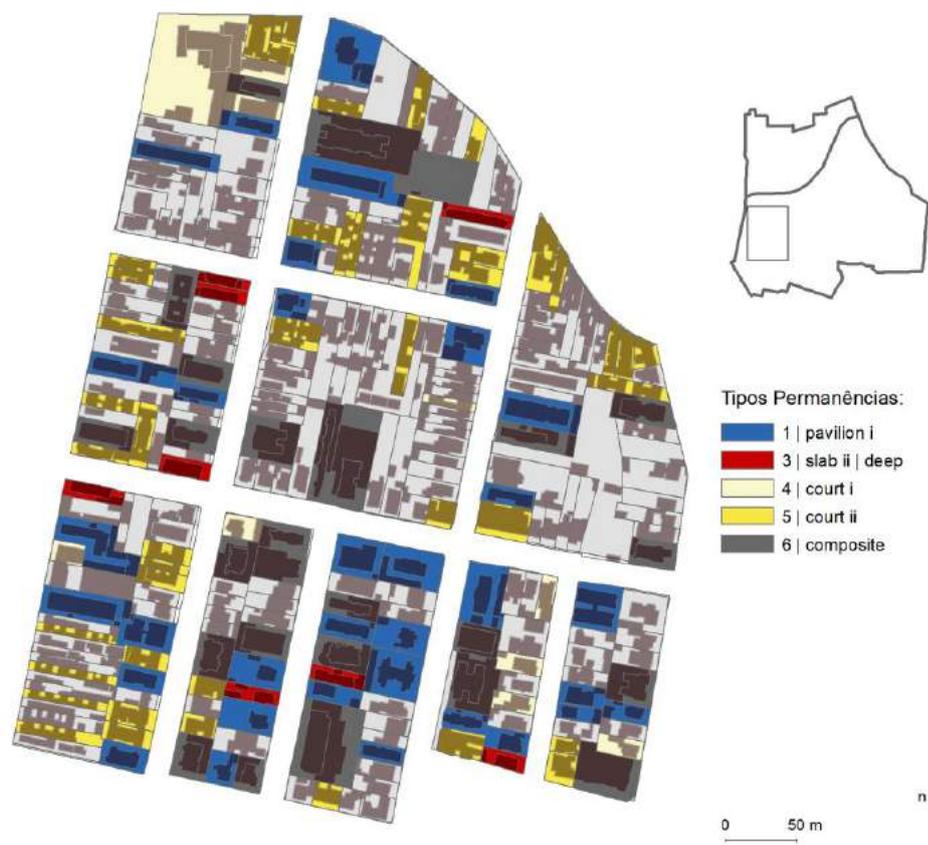


Figura 98: Tipologias identificadas na área de estudo considerando apenas as edificações com baixo potencial de renovação.

Fonte: Elaborada pela autora.

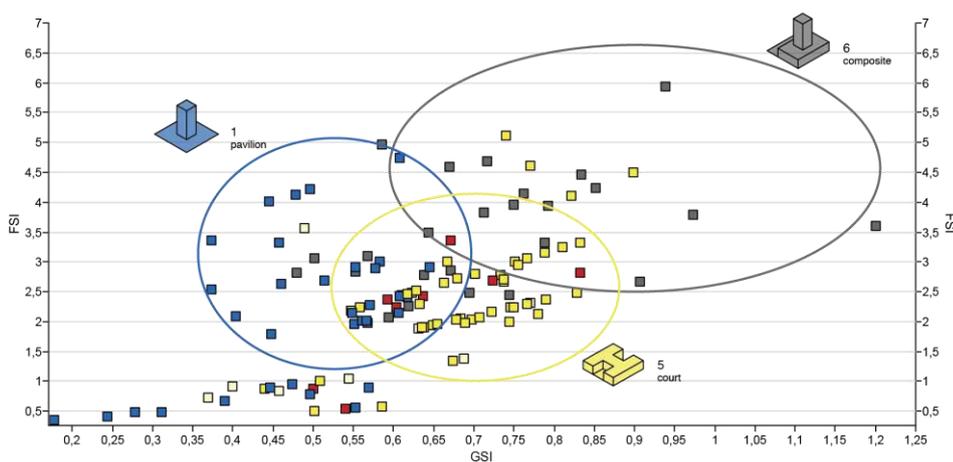


Figura 99: Posição dos lotes com edificações com baixo potencial de renovação no Diagrama Spacemate.

Fonte: Elaborada pela autora.

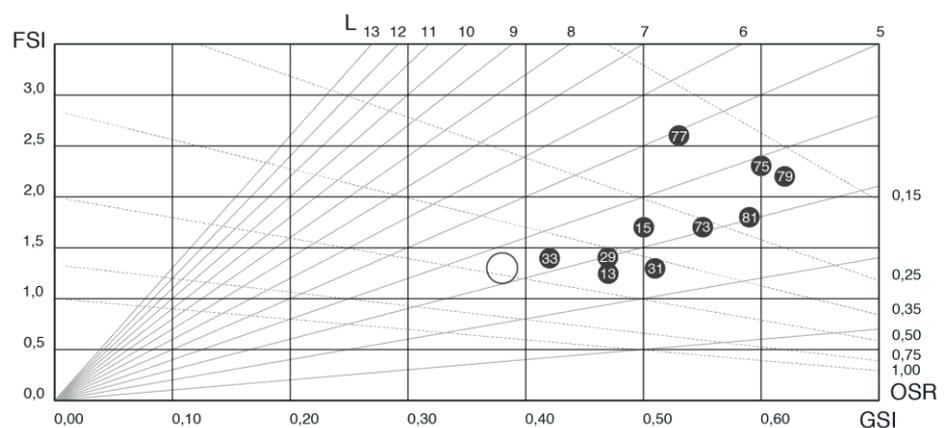
Tanto a diversidade tipológica identificada dentro dos quarteirões, quanto a tendência tipológica de ocupação espacial do quarteirão serão confrontadas na construção de cenários nas seções seguintes: de acordo com as regras do atual PDDUA (Cenários B e C); bem como na definição de regras top-down e bottom-up na construção do cenário alternativo (Cenário D).

### (ii) Homogeneidade versus Heterogeneidade da Ocupação

A análise da posição das diferentes escalas de agregação dentro do Diagrama Spacemate permite não apenas a leitura de valores absolutos das diferentes escalas, mas também a leitura de valores relativos. Um tecido composto por uma certa quantidade de ilhas aparecerá em uma posição mais próxima da origem no diagrama (menor FSI e GSI) que a média das ilhas, como ocorre na área de estudo (Figura abaixo).

Figura 100:  
Localização  
dos  
quarteirões  
selecionados  
no Diagrama  
Spacemate.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



A distância relativa entre escalas pode ser também relacionada ao grau de consolidação dos quarteirões analisados. A Figura 87 apresenta os quarteirões representados no Diagrama Spacemate de acordo com o percentual executado do potencial construtivo total previsto para o quarteirão de acordo com o 2º PDDUA.

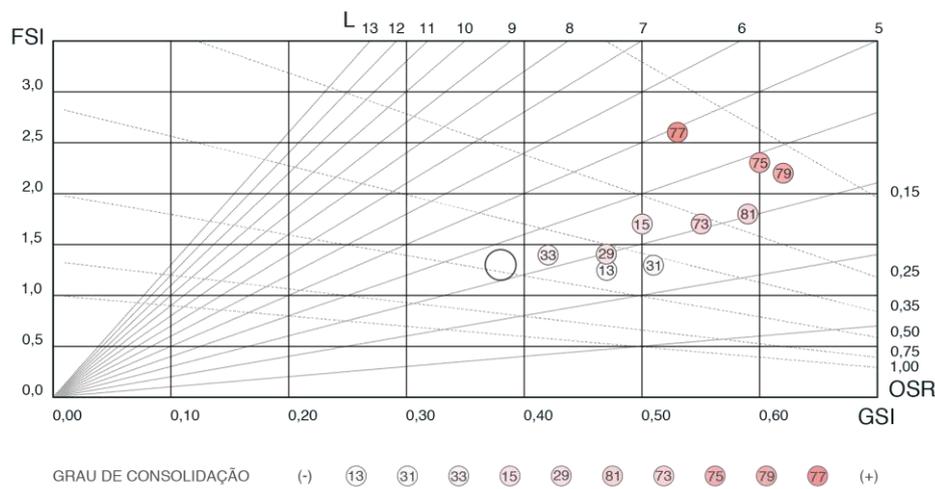


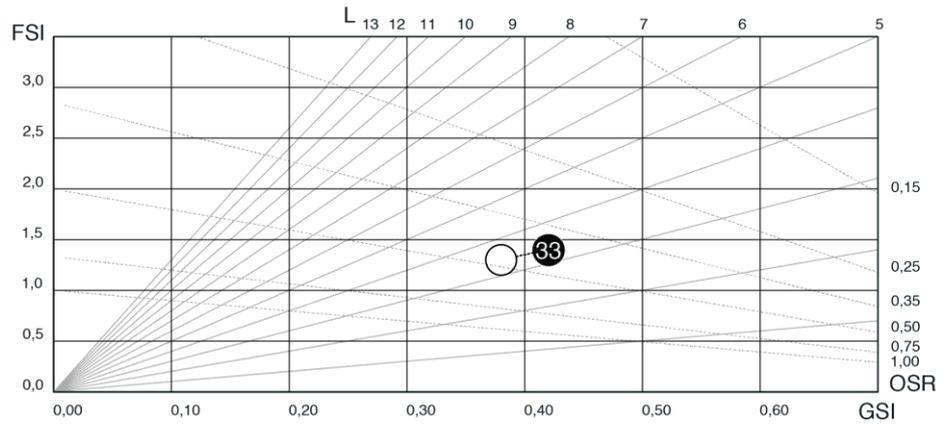
Figura 101: Quarteirões no Diagrama Spacemate classificados de acordo com o grau de consolidação.

Fonte: Elaborada pela autora.

Considerando os quarteirões posicionados nos extremos do gráfico, temos em posição relativa mais próxima do tecido o exemplo de um quarteirão com menor densidade construtiva - baixo FSI/GSI e, em posição relativa mais distante o exemplo de um quarteirão com maior densidade construtiva - alto FSI/GSI (Figuras 89 e 90).

Figura 102:  
Relação  
Tecido/Quadr  
a, Quarteirão  
33.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



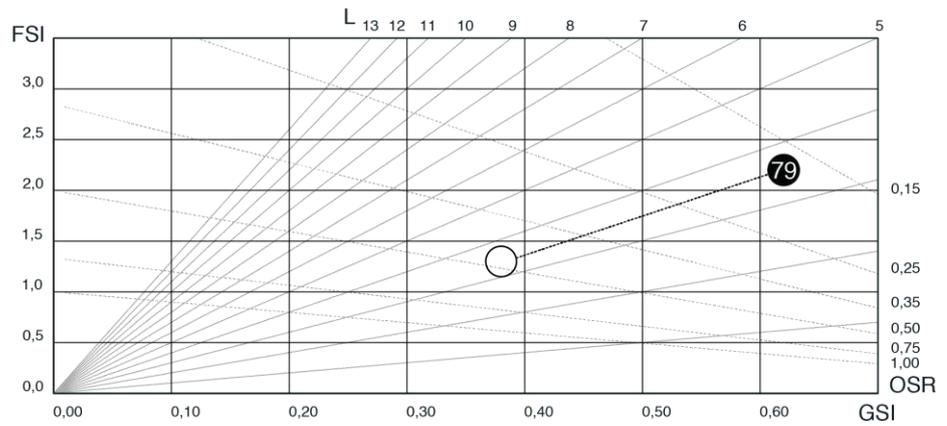
T | TECIDO

33 | QTR 33



Figura 103:  
Relação  
Tecido/Quadr  
a, Quarteirão  
79.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



T | TECIDO

79 | QTR 79



Analisando a posição relativa do tecido com relação aos quarteirões no diagrama, emergem duas situações extremas: (a) no caso de repetição e posições tendendo a coincidir, formas de ocupação mais homogêneas; e (b) no caso dispersão de objetos no gráfico em que os objetos de menor escala de agregação tendem a se distanciar do objeto de maior hierarquia (no caso, as quadras com relação ao tecido), formas de ocupação mais heterogêneas. Da mesma forma, considerando a posição do quarteirão no Diagrama Spacemate, podemos analisar a posição relativa dos lotes formando aglomerados maiores ou menores em torno deste centro de gravidade.

As Figuras 91 e 92 apresentam, respectivamente, a identificação dos lotes dentro dos limites do quarteirão 33 e a posição relativa de cada um destes lotes com relação ao quarteirão no Diagrama Spacemate. As Figuras 93 e 94 reproduzem a mesma avaliação para o quarteirão 79.



Figura 104:  
Identificação  
dos lotes  
inseridos  
dentro do  
quarteirão 33.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

Figura 105:  
Posição do  
QTR 33 e lotes  
relacionados  
no Diagrama  
Spacemate.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

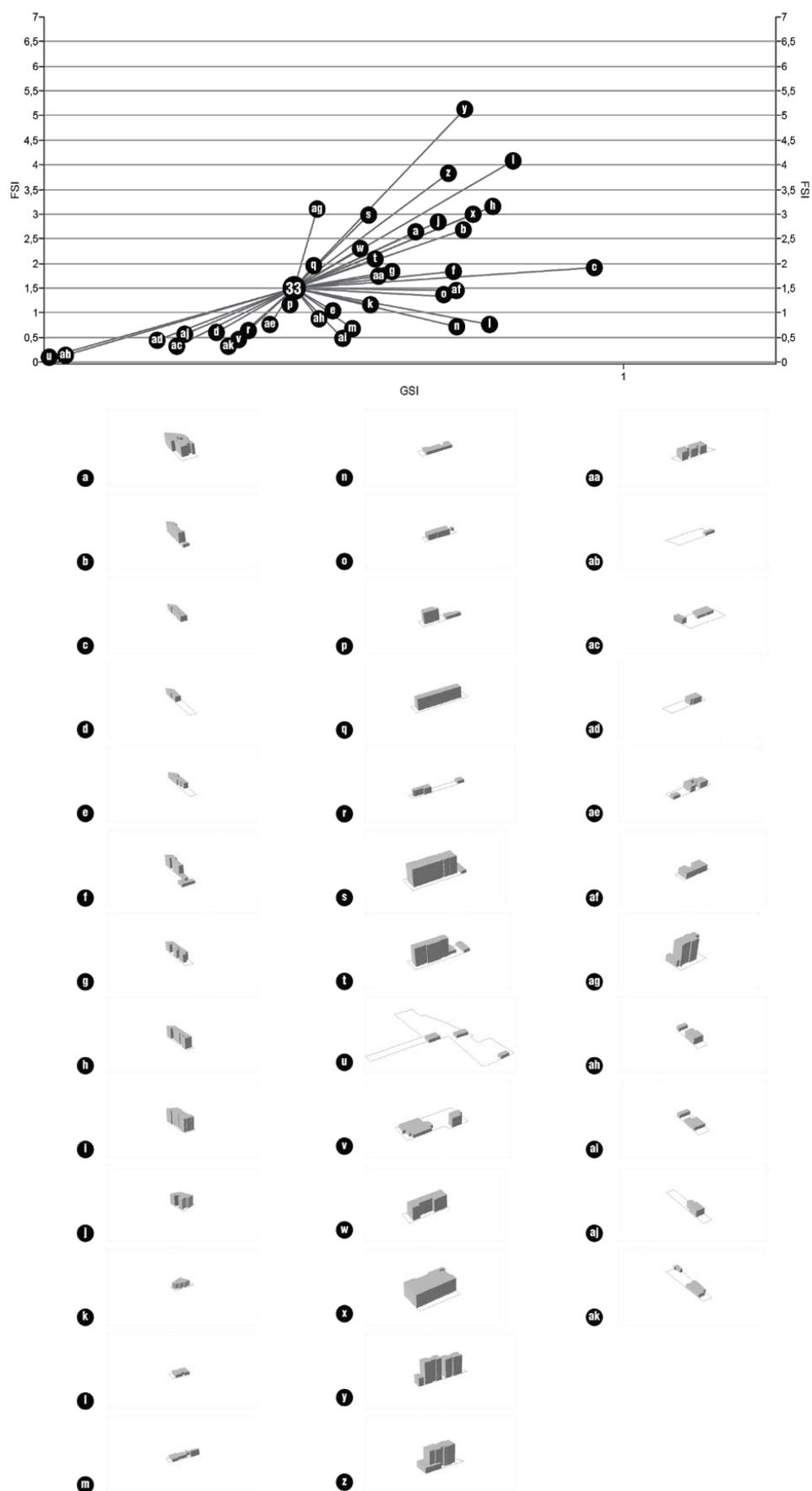




Figura 106:  
Identificação  
dos lotes  
inseridos  
dentro do  
quarteirão 79.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

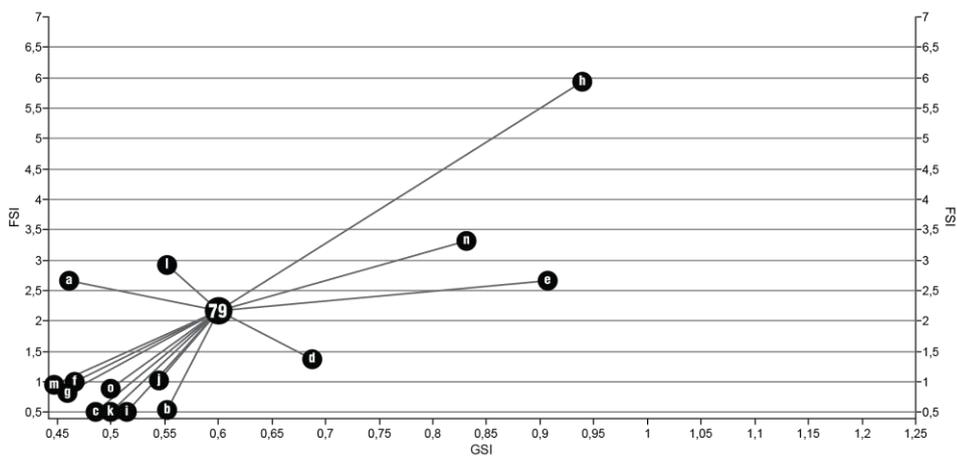
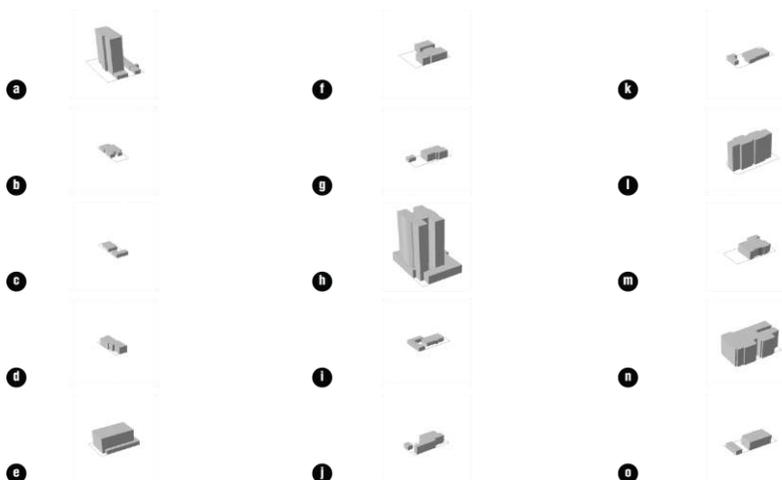


Figura 107:  
Posição do  
QTR 79 e lotes  
relacionados  
no Diagrama  
Spacemate.

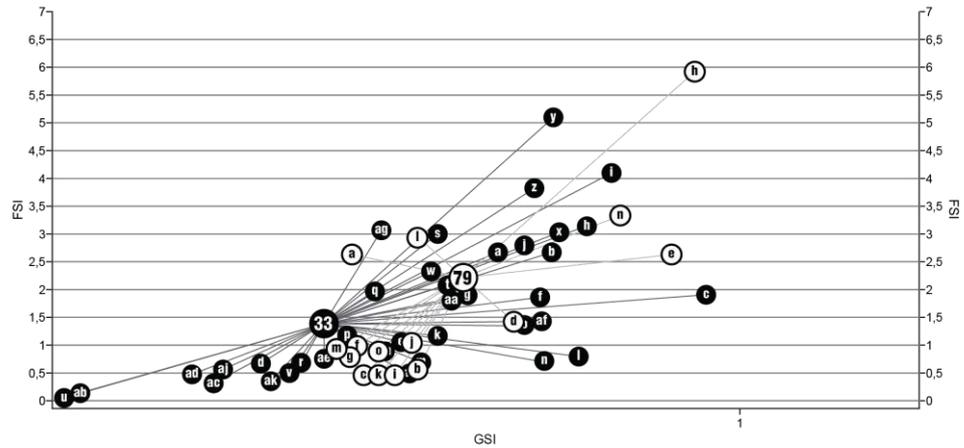
Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



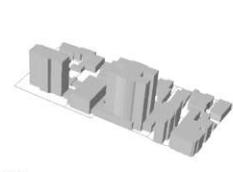
Sobrepondo a visualização do QTR 33 e do QTR 79 no Diagrama Spacemate (Figura 95), é possível perceber que, mesmo no quarteirão mais ocupado, existe a dispersão de elementos, indicativa de baixa homogeneidade no quarteirão.

Figura 108:  
Posição do  
QTR 33 e 79 e  
lotes  
relacionados  
no Diagrama  
Spacemate.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



**33**  
Ax = 16634,88  
Bx = 7763,62  
Fx = 20781,13  
Nbs = 8871,26  
Td = 26,64  
FSI = 1,25  
GSI = 46,67  
L = 2,68  
OSR = 0,43  
T = 0,16



**79**  
Ax = 8771,29  
Bx = 5400,24  
Fx = 19509,72  
Nbs = 3371,06  
Td = 18,21  
FSI = 2,22  
GSI = 61,57  
L = 3,61  
OSR = 0,17  
T = 0,21

Onde: Ax = base land area em m<sup>2</sup>; Bx = footprint em m<sup>2</sup>/ Fx = gross floor area em m<sup>2</sup>; Nbs = non built space em m<sup>2</sup>; Td = tare difference em m<sup>2</sup>; FSI = building intensity em m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>; GSI = coverage em %; L = building height em m; OSR = spaciousness em m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>; T = tare em %.

Visualizando o padrão de ocupação dos quarteirões 33 e 79 e a distância relativa dos dados agregados por lote com relação aos dados agregados por quarteirão de referência, notam-se duas situações: (a) no QTR 33 aglomerados de lotes com características de ocupação semelhante desvinculados da lógica da distribuição espacial destes padrões na quadra (Figura 96); e (b) no QTR 79 a concentração de aglomerados de lotes com características de ocupação semelhante associados à face do quarteirão (Figura 97).

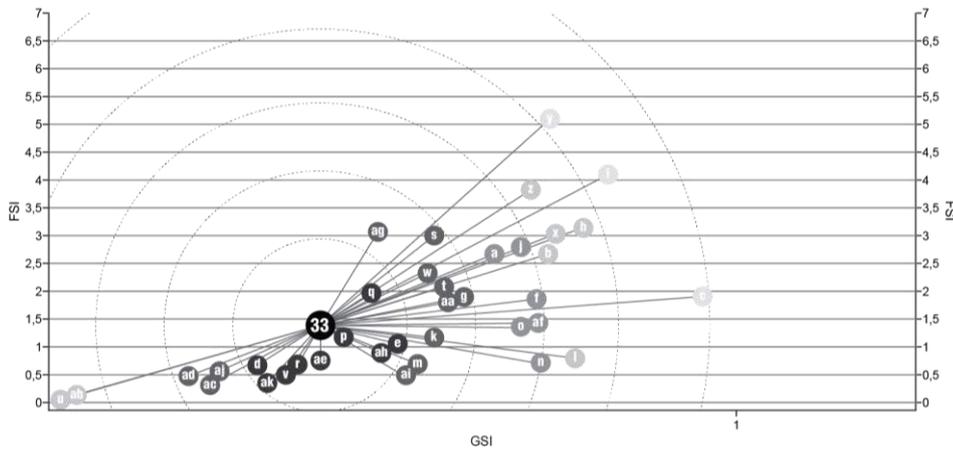
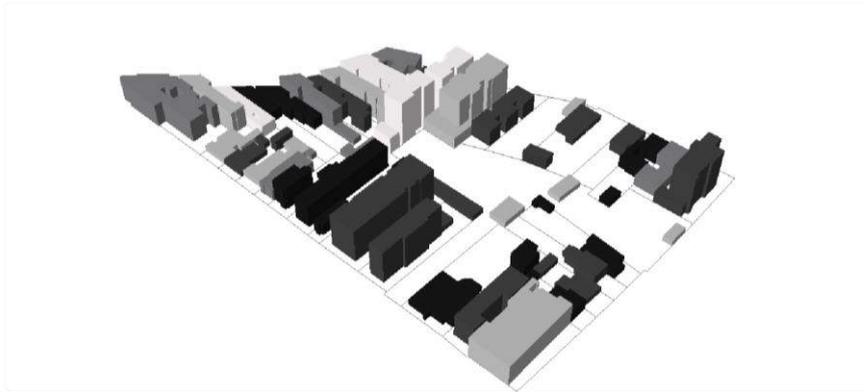


Figura 109:  
Posição do  
QTR 33 e  
relação de  
proximidade  
de padrões  
de lotes.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



33

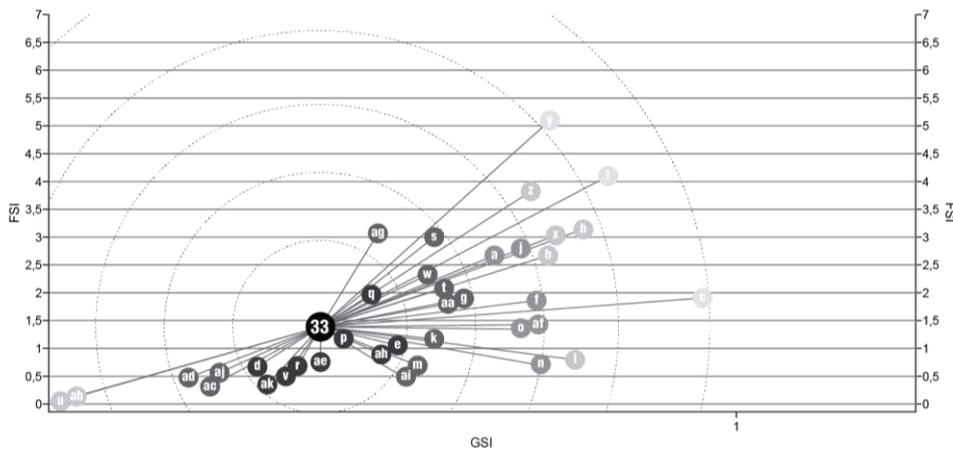
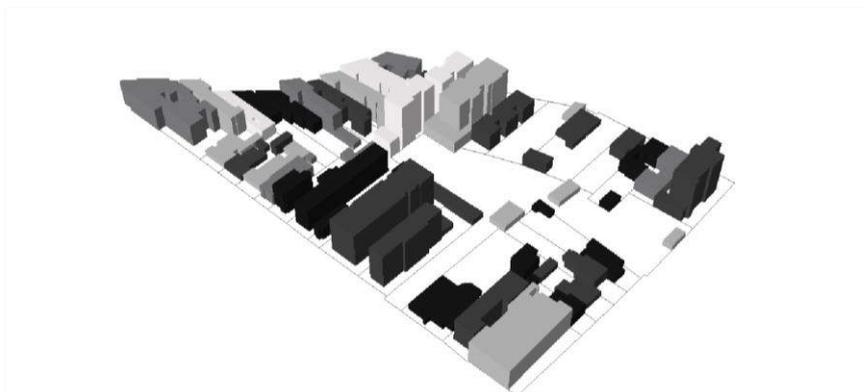


Figura 110:  
Posição do  
QTR 79 e  
relação de  
proximidade  
de padrões  
de lotes.

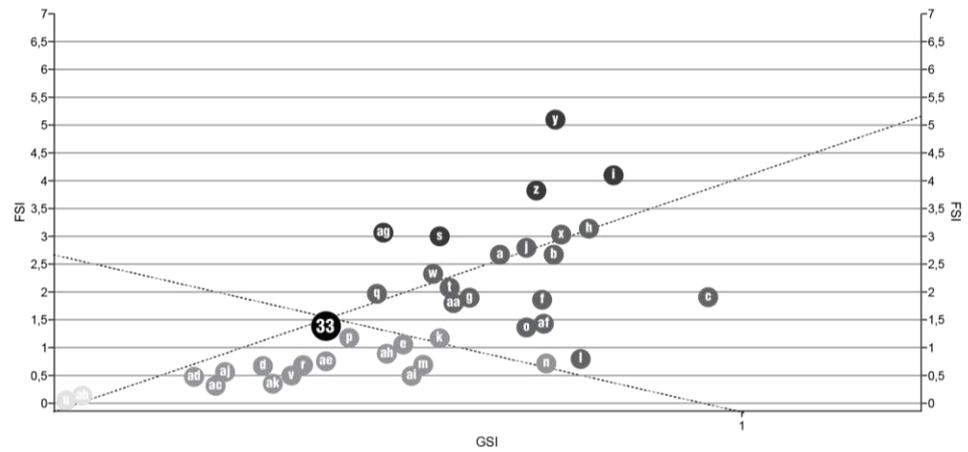
Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



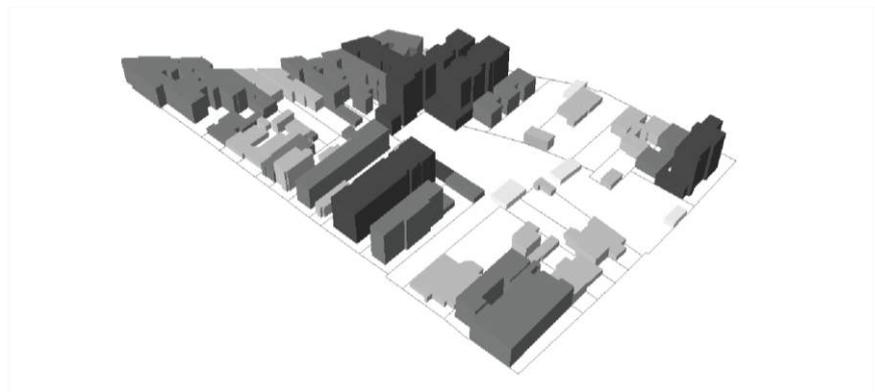
33

Sobrepondo os pontos de referência dos indicadores derivados OSR e L sobre o diagrama, as edificações podem ser classificadas conforme demonstrado nas Figura 98 e 99. Nesta representação, para os lotes incidentes sobre a linha de corte, foi utilizada a classificação imediatamente inferior à linha.

Figura 111:  
Posição do  
QTR 33 e  
relação de  
proximidade  
de padrões  
por lote  
utilizando  
como linha de  
corte os  
indicadores  
derivados OSR  
e L referência  
do QTR.



Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



33

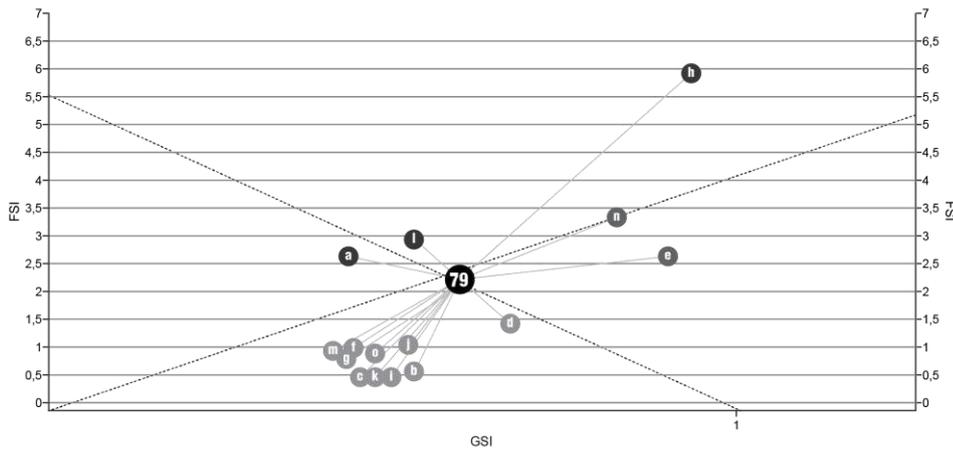
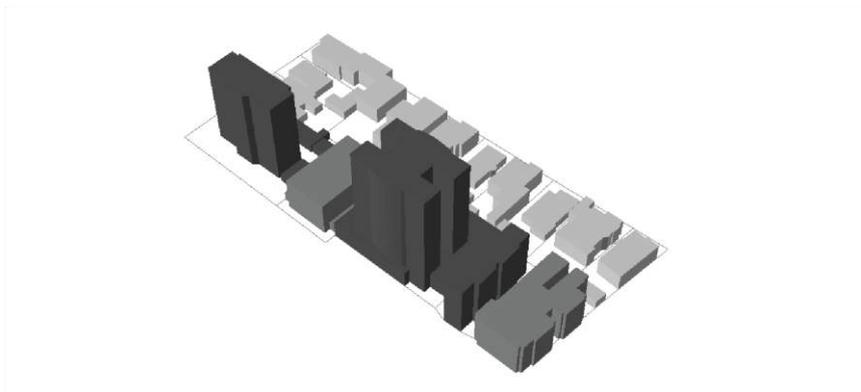


Figura 112: Posição do QTR 79 e relação de proximidade de padrões por lote utilizando como linha de corte os indicadores derivados OSR e L referência do QTR.



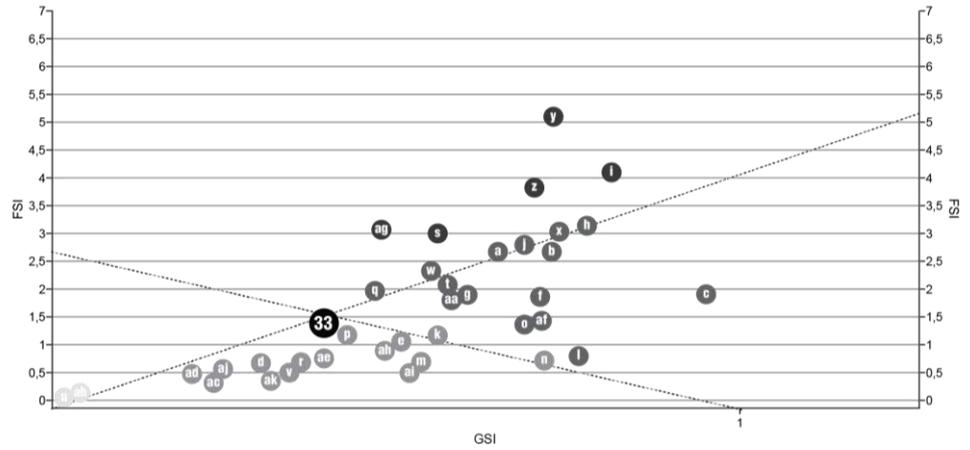
79

Fonte:  
Elaborada pela autora.

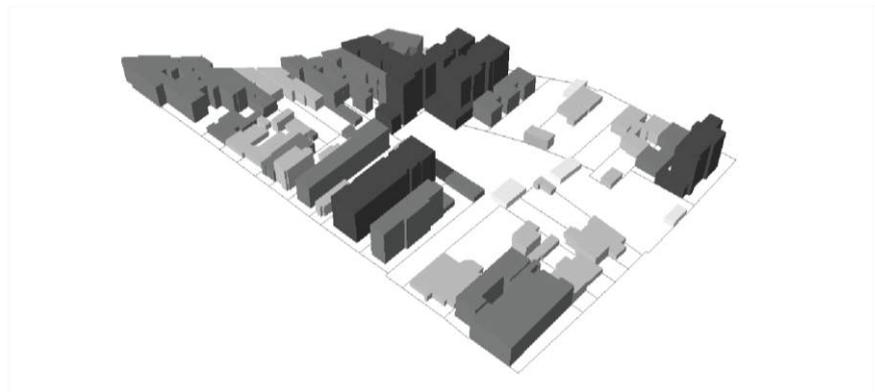
A sobreposição das duas formas de agrupamento de ocorrências dentro do Spacemate permite o refinamento da classificação das tipologias presentes na área de estudo (Figura 100 e Figura 101).

A sobreposição de informações nas Figuras 99 e 100 permitiu o refinamento da classificação tipológica inicialmente proposta e servirá de base para a análise da relação entre as variações tipo morfológicas com os modelos de desempenho.

Figura 113:  
Posição do  
QTR 33 e  
relação de  
proximidade  
dos lotes  
considerando:  
linha base  
OSR e L; e  
distância entre  
objetos.

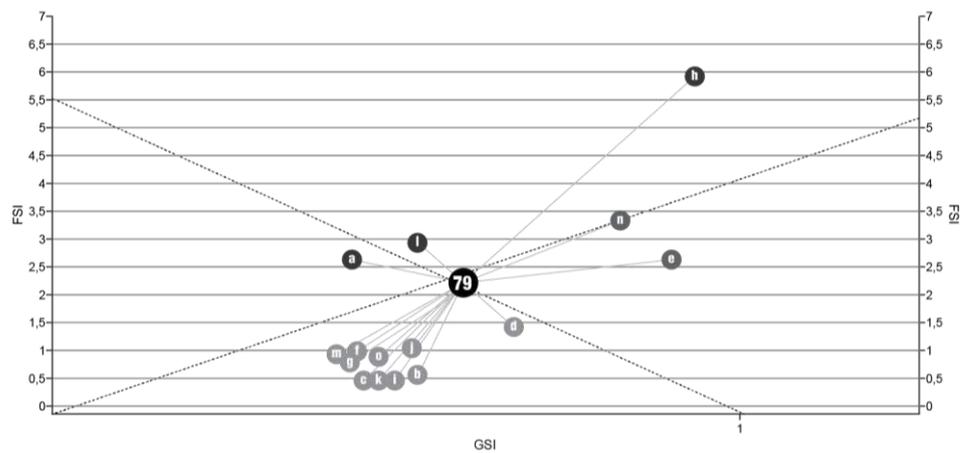


Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

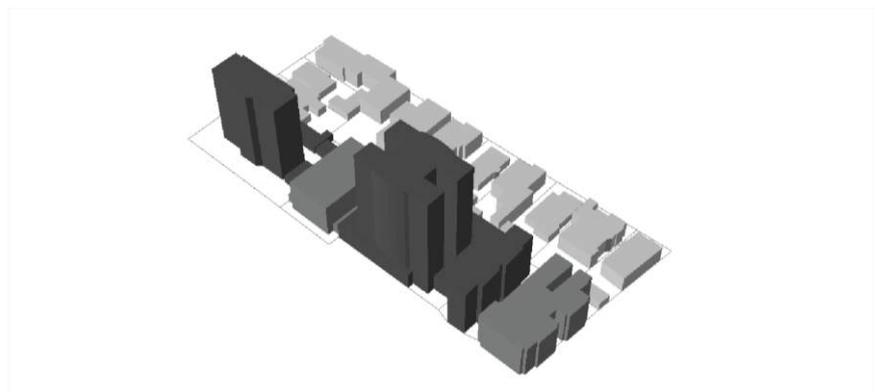


33

Figura 114:  
Posição do  
QTR 79 e  
relação de  
proximidade  
dos lotes  
considerando:  
linha base  
OSR e L; e  
distância entre  
objetos.



Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



79

## 3.2. Cenário Simulado 2º PDDUA (B e C)

### SIMULAÇÃO DA OCUPAÇÃO DE ACORDO COM AS REGRAS DO 2º PDDUA

A simulação da área de estudo conforme os parâmetros previstos no 2º PDDUA de Porto Alegre leva em conta dois aspectos principais: (a) edificações que dificilmente serão objeto de renovação resultando em permanências; e (b) seleção do tipo edifício mais adequado de acordo com o desempenho na execução do potencial construtivo máximo previsto para o lote urbano.

#### (a) Permanências

Um dos principais elementos para a seleção de edificações a serem preservadas dentro da área de estudo foi a lista do Inventário do Patrimônio Histórico do Bairro Petrópolis<sup>42</sup>. A Figura abaixo ilustra os diferentes níveis de preservação presentes na área. Considerando que as edificações listadas como imóveis de compatibilização<sup>43</sup> podem ser substituídas, bem como as casas indicadas de interesse, devendo apenas obedecer a critérios específicos de adequação à paisagem, os terrenos com esta classificação também são considerados passíveis de renovação.

---

<sup>42</sup> Inventário do Patrimônio Cultural de Bens Imóveis de Porto Alegre. Disponível online em: [http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smc/usu\\_doc/inventario05set.pdf](http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smc/usu_doc/inventario05set.pdf).

<sup>43</sup> De acordo com o 2º PDDUA (PORTO ALEGRE, 1999), edificação de compatibilização é "aquela que expressa relação significativa com a de Estruturação e seu entorno, cuja volumetria e outros elementos de composição requerem tratamento especial".

Dentre as classificações utilizadas na Figura, a permanência utilizada nos cenários construídos limitou-se aos imóveis classificados como de estruturação<sup>44</sup>, de acordo com os níveis de preservação previstos no 2º PDDUA.

Figura 115:  
Imóveis  
inventariados  
na área de  
estudo.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



Outro aspecto considerado na definição de permanências é a relação entre o potencial construtivo previsto para determinado lote e o potencial construtivo efetivamente executado. Como linha de corte, definiu-se como passível de renovação todo o lote cujo o somatório da área construída das edificações incidentes seja inferior a 50% do potencial construtivo previsto no Plano.

<sup>44</sup> De acordo com o 2º PDDUA (PORTO ALEGRE, 1999), edificação de estruturação é “aquela que por seus valores atribui identidade ao espaço, constituindo elemento significativo na estruturação da paisagem onde se localiza”.



Figura 116:  
Lotes de acordo com o potencial de renovação: [a] em branco os lotes com alto potencial de renovação; e [b] em preto os lotes com baixo potencial de renovação.

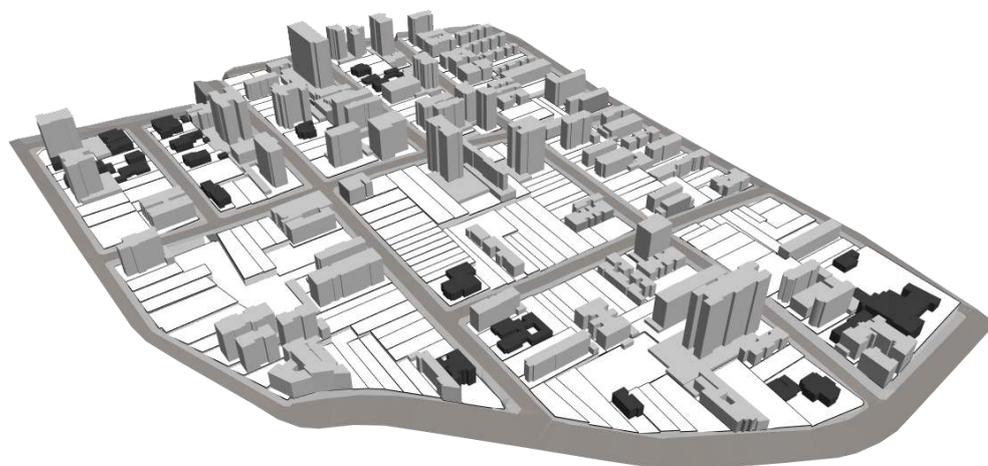
Fonte:  
Elaborada pela autora.

Removendo-se as edificações passíveis de substituição, temos o cenário preliminar de permanências apresentado abaixo, já com os lotes a serem simulados representados em branco, sem edificações.

Considerando as permanências e a opção tipológica de acordo com o padrão do parcelamento atual<sup>45</sup>, a Figura abaixo ilustra a simulação do cenário de ocupação máxima de acordo com os parâmetros previstos no Plano.

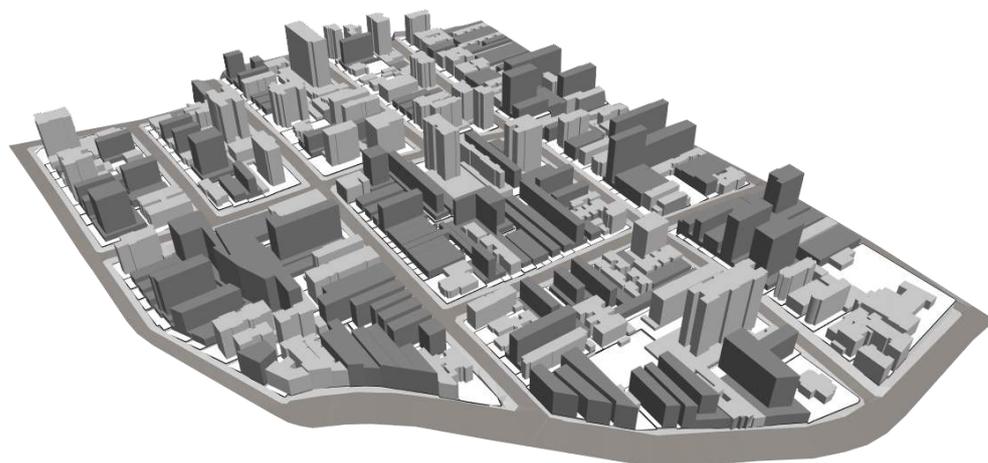
<sup>45</sup> A opção tipológica para ocupação dos lotes utilizou como base o ábaco de performance de testadas (ANZOLCH, 1995), apresentado na seção anterior.

Figura 117:  
Base simulada,  
onde: (a) em  
cinza escuro  
as edificações  
de interesse  
histórico; (b)  
em cinza claro  
as edificações  
com 50% ou  
mais do  
potencial  
construtivo  
executado; e  
(c) em branco  
os lotes  
selecionados  
para a  
simulação.



Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

Figura 118:  
Cenário de  
acordo com as  
regras do 2º  
PDDUA sobre  
o  
parcelamento  
existente.



Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

A seleção tipológica para simulação de acordo com os padrões morfológicos dos lotes resultou na distribuição de tipologias apresentadas nas Figuras 106 e 107:

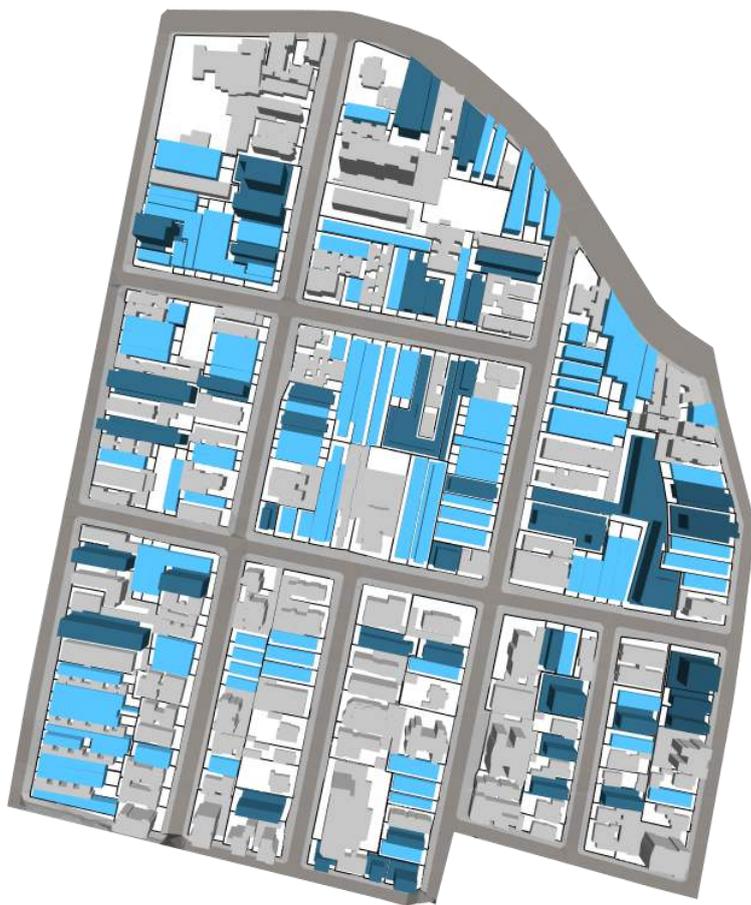


Figura 119:  
Cenário de acordo com as regras do 2º PDDUA com diferenciação de tipologias adotadas: [1] em azul claro a construção com o modelo nas divisas; [2] em azul escuro a edificação no modelo base e corpo.

Fonte:  
Elaborada pela autora.

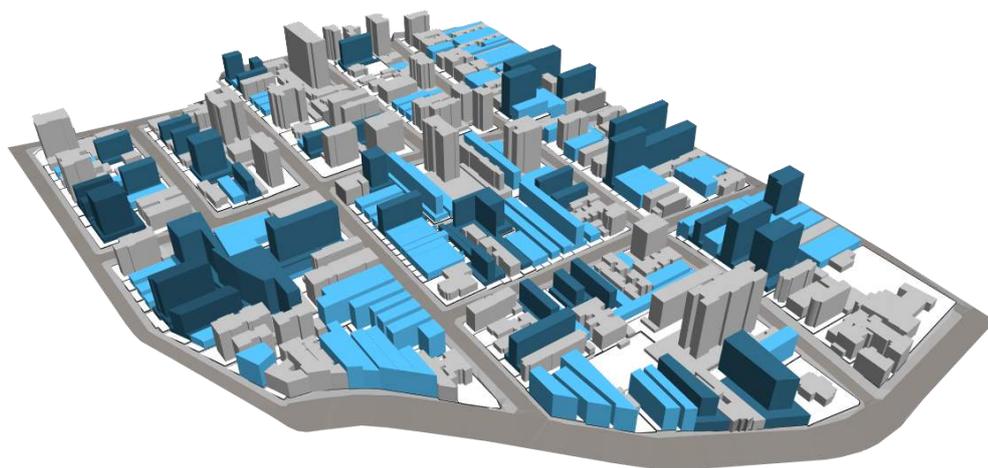


Figura 120:  
Cenário de acordo com as regras do 2º PDDUA com diferenciação de tipologias adotadas: [1] em azul claro a construção com o modelo nas divisas; [2] em azul escuro a edificação no modelo base e corpo.

Fonte:  
Elaborada pela autora.

A simulação de acordo com as regras do 2º PDDUA sobre o parcelamento existente nos lotes com alto potencial de renovação, resulta em um potencial executado de 39% sobre o total previsto na área de estudo. Restrições dadas pelo parcelamento existente resulta na impossibilidade de execução de cerca de 25% do potencial construtivo previsto.

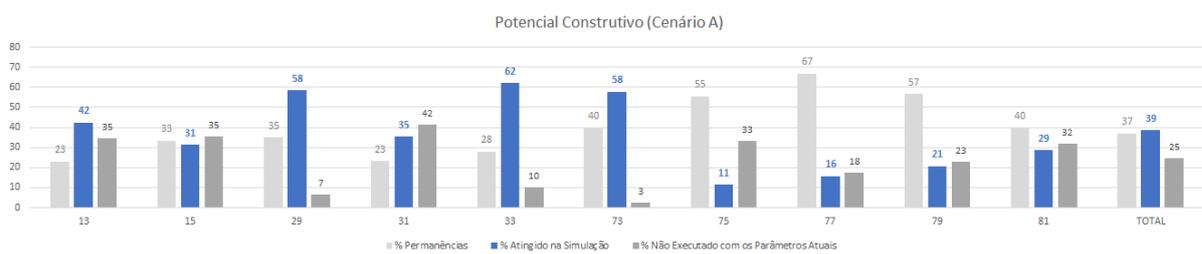


Figura 121:  
Potencial  
construtivo  
executado no  
Cenário B.

Fonte:  
Elaborado  
pela autora.

Como alternativa para execução integral do potencial previsto nos quarteirões, foi criado um cenário considerando a possibilidade de remembramento de lotes. Para o remembramento, estabeleceu-se como regra a possibilidade de atingir a testada de melhor desempenho para execução integral do potencial construtivo previsto para o lote, cerca de 25 metros, para 80% do parcelamento atual.

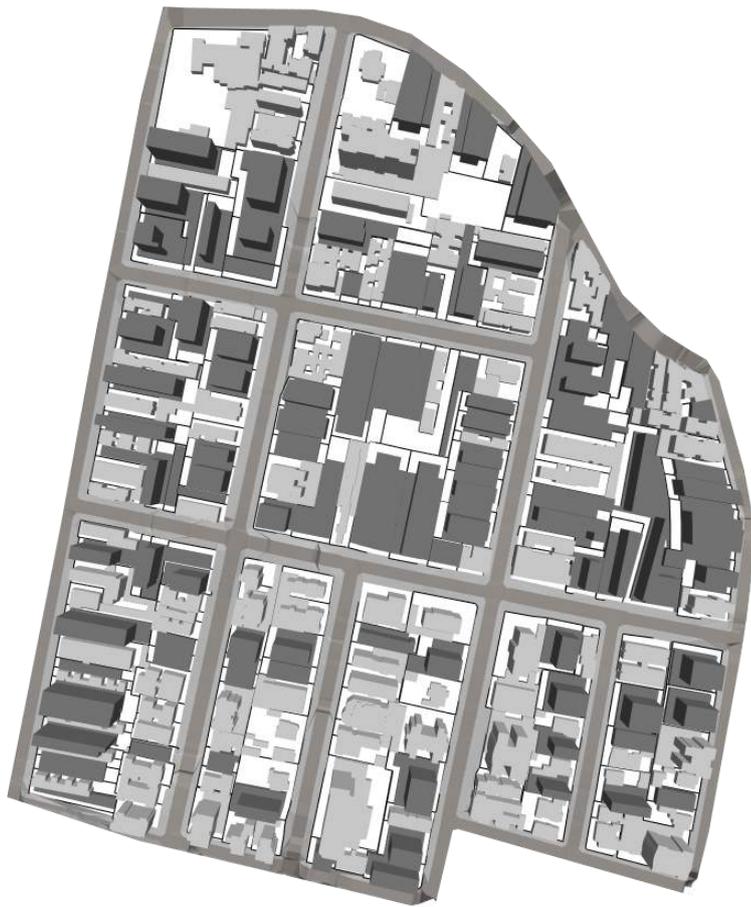


Figura 122:  
Cenário  
considerando  
o  
remembrament  
o de lotes  
urbanos para  
a aplicação  
das regras do  
2º PDDUA  
(Cenário C).

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



Figura 123:  
Cenário  
considerando  
o  
remembrament  
o de lotes  
urbanos para  
a aplicação  
das regras do  
2º PDDUA  
(Cenário C).

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

Neste cenário, é possível atingir 84% do potencial construtivo previsto para os quarteirões:

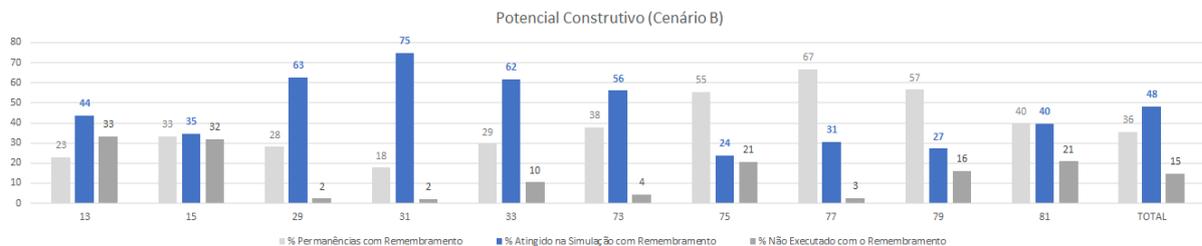


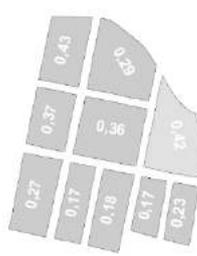
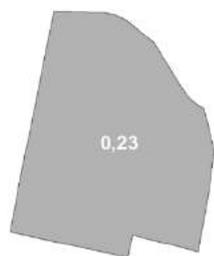
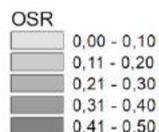
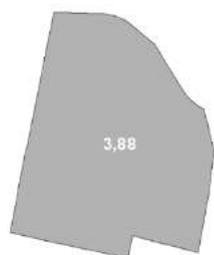
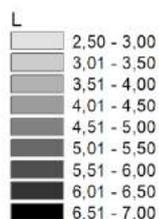
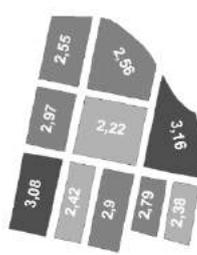
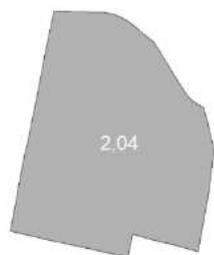
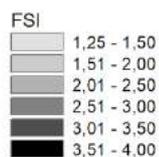
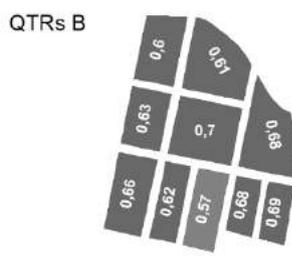
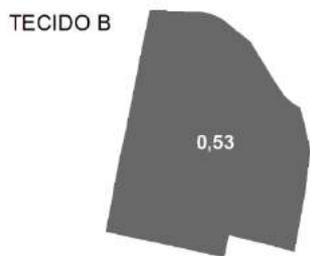
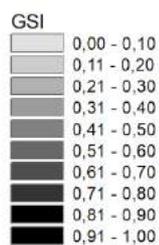
Figura 124:  
Potencial  
construtivo  
executado no  
Cenário B.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

Mesmo com o remembramento e consequente esgotamento do potencial construtivo previsto para os quarteirões, a simulação não resulta na consolidação do modelo de ocupação previsto pelo Plano: a diversidade tipológica dentro dos quarteirões não apenas se mantém, mas se intensifica. Nas seções seguintes esta condição será evidenciada pela análise de tipologias e de homogeneidade/heterogeneidade das ocupações.

#### (i) Descrição de Tipologias

As Figuras 111 e 112 ilustram os valores correspondentes aos indicadores básicos e derivados para as escalas de agregação do tecido e das ilhas dentro da área de estudo. Na sequência, as Figuras apresentam a localização dos quarteirões analisados dentro do Diagrama Spacemate e a visualização da ocupação destes quarteirões a partir do modelo construído em 2D e 3D para os Cenários de Simulação 2ºPDDUA, com ou sem remembramento (respectivamente, os Cenários B e C).



GSI: Taxa de Ocupação  
FSI: Índice de Aproveitamento  
L: Altura  
OSR: Índice de Espaço Aberto

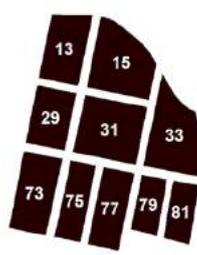
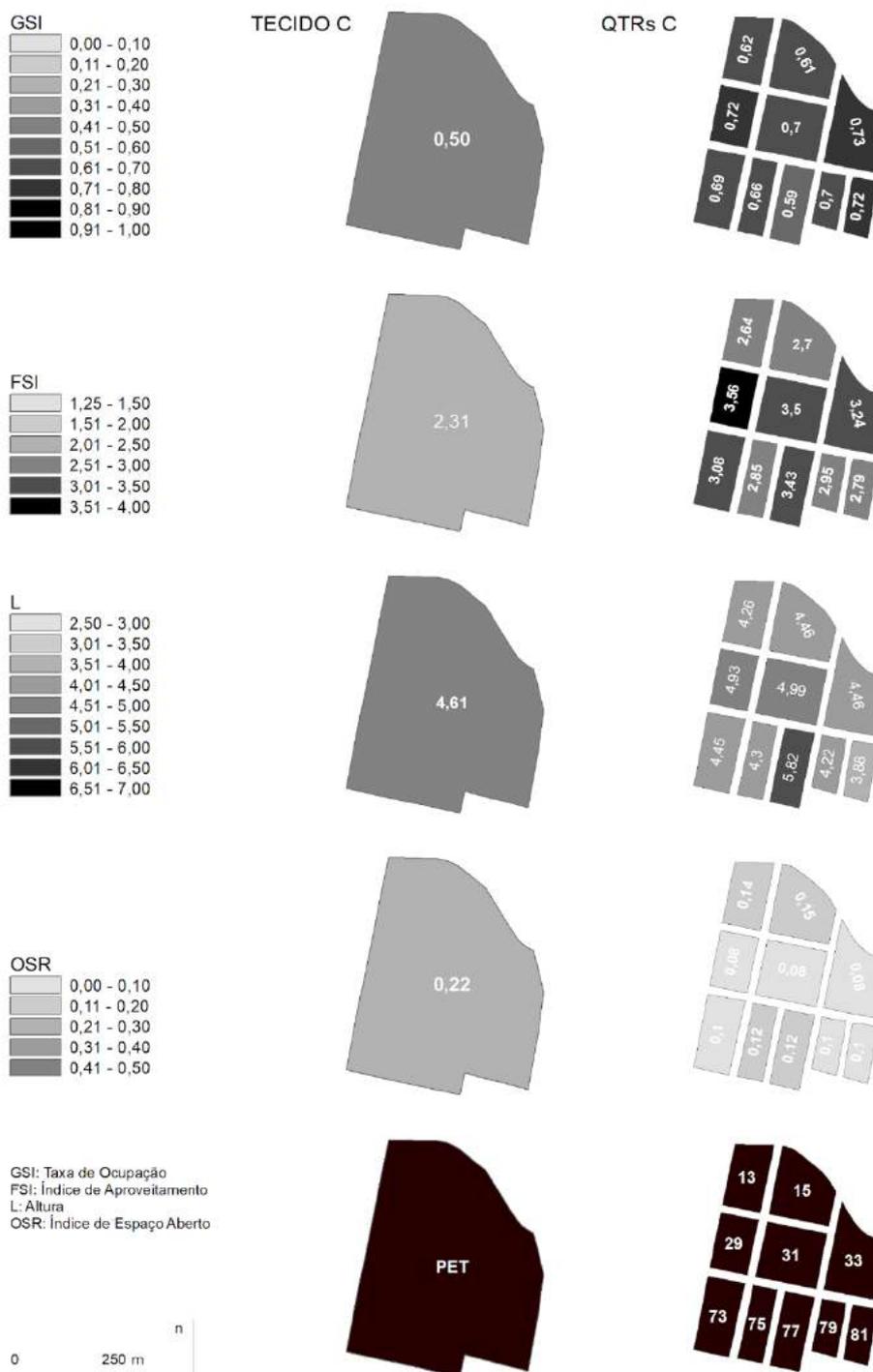


Figura 125: Indicadores aplicados na área de estudo nas escalas de agregação identificadas para o Cenário B.

Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 126:  
Indicadores aplicados na  
área de estudo  
nas escalas de  
agregação  
identificadas  
para o  
Cenário C.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



Analisando a relação de localização dos quarteirões no Cenário Atual A (em preto) com os quarteirões no Cenário Simulado B (em azul) no Diagrama Spacemate, temos o resultado apresentado na Figura abaixo.

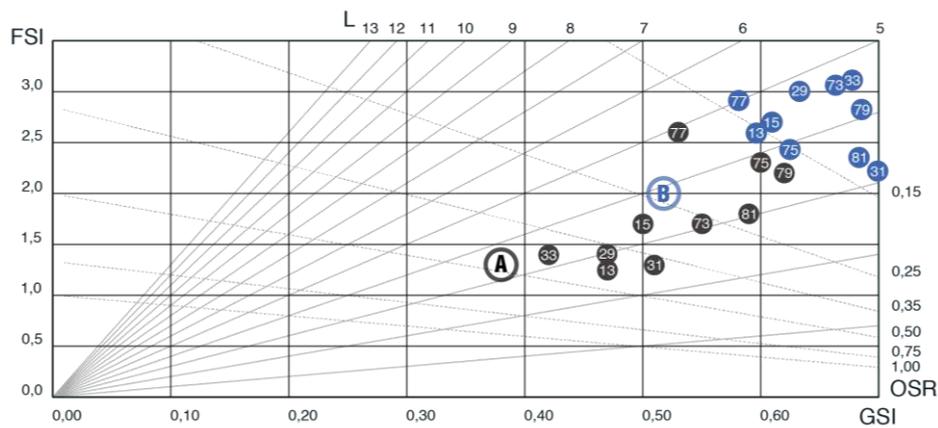


Figura 127: Comparação entre o Cenário Atual (A) e o Cenário Simulado PDDUA (B) no Diagrama Spacemate.

Fonte: Elaborada pela autora.

Adicionando o Cenário Simulado C (em vermelho) ao Diagrama, temos a Figura abaixo.

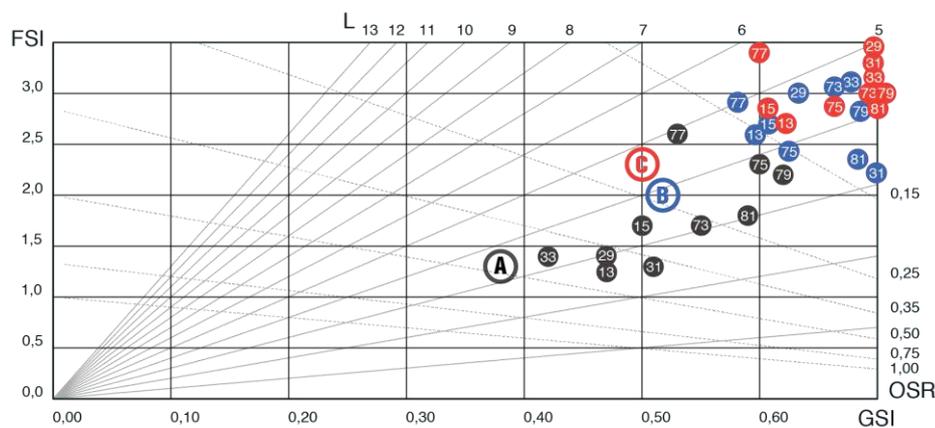


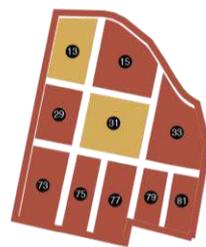
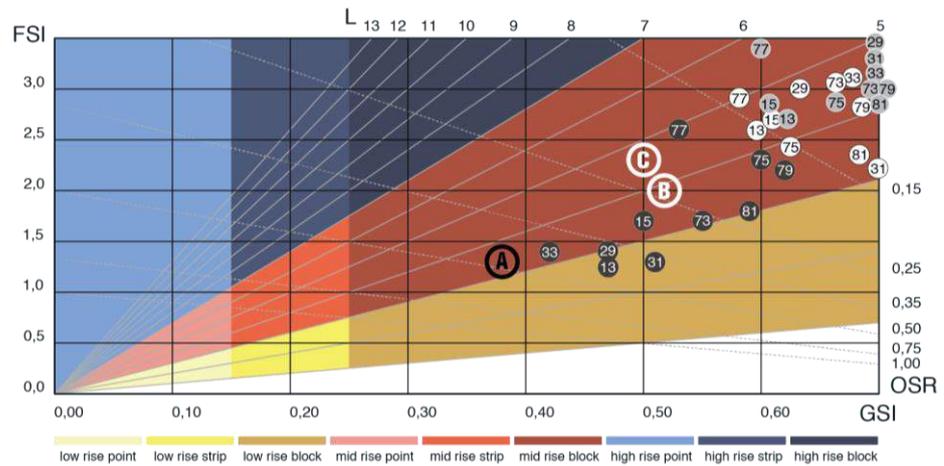
Figura 128: Comparação entre o Cenário Atual (A), o Cenário Simulado PDDUA (B) e o Cenário Simulado PDDUA © no Diagrama Spacemate.

Fonte: Elaborada pela autora.

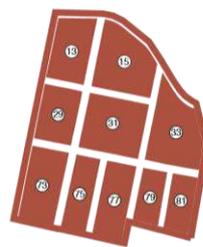
Sobrepondo a classificação tipológica sobre o diagrama, a simulação de acordo com as regras do 2ºPDDUA reforça a tendência de identificação do quarteirão como do tipo 6 | mid rise block tanto para o Cenário B e C (Figura 115).

Figura 129: Tecido e Quarteirões selecionados sobre a classificação tipológica proposta por van NES.

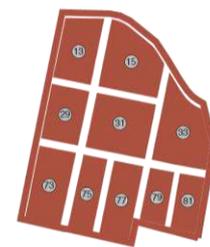
Fonte: Elaborada pela autora.



**CENÁRIO A**  
Cenário Atual



**CENÁRIO B**  
Cenário Simulado  
2º PDDUA



**CENÁRIO C**  
Cenário Simulado  
2º PDDUA

As Figura abaixo apresentam os quarteirões simulados para o Cenário B e C, respectivamente, e sua posição com relação aos quarteirões modelo simulados na seção anterior para os tipos: divisa, corpo isolado e base corpo. De acordo com os resultados apresentados nos gráficos, os quarteirões de forma agregada tendem, mesmo com o esgotamento do potencial construtivo através do remembramento de lotes urbanos, a se consolidar no tipo pátio.

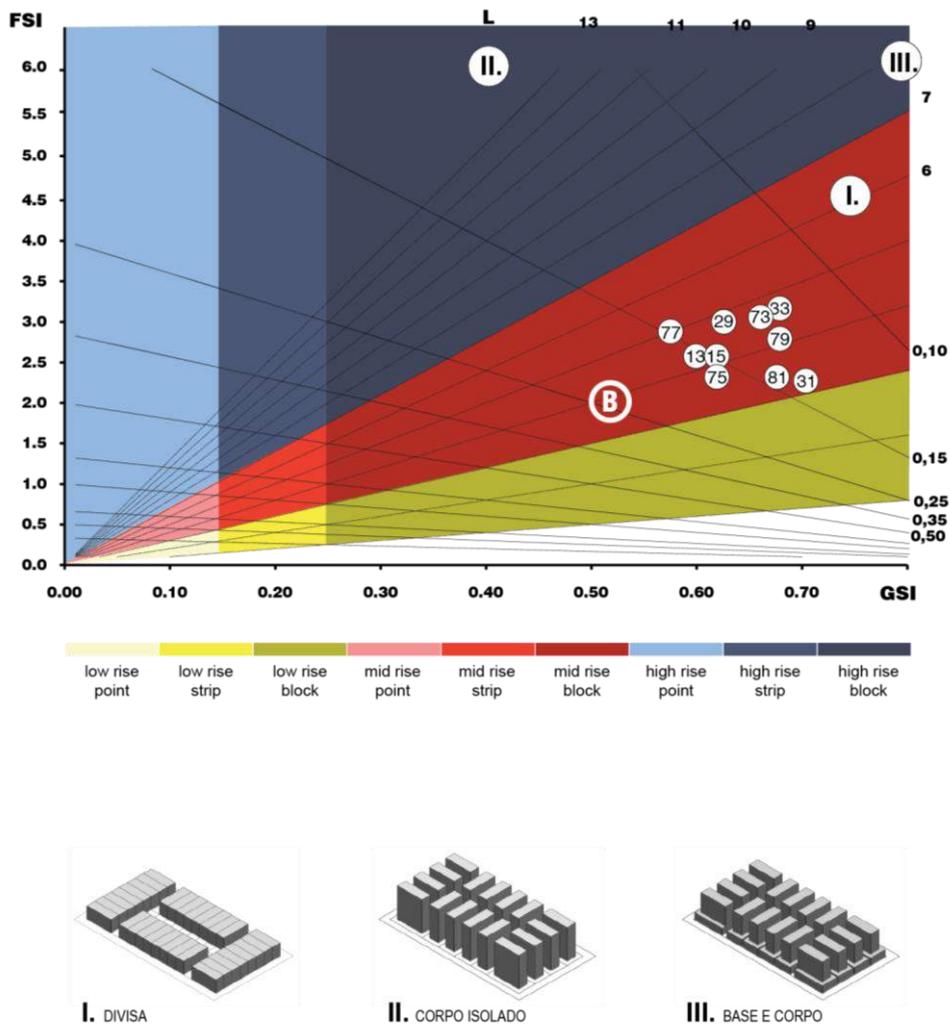


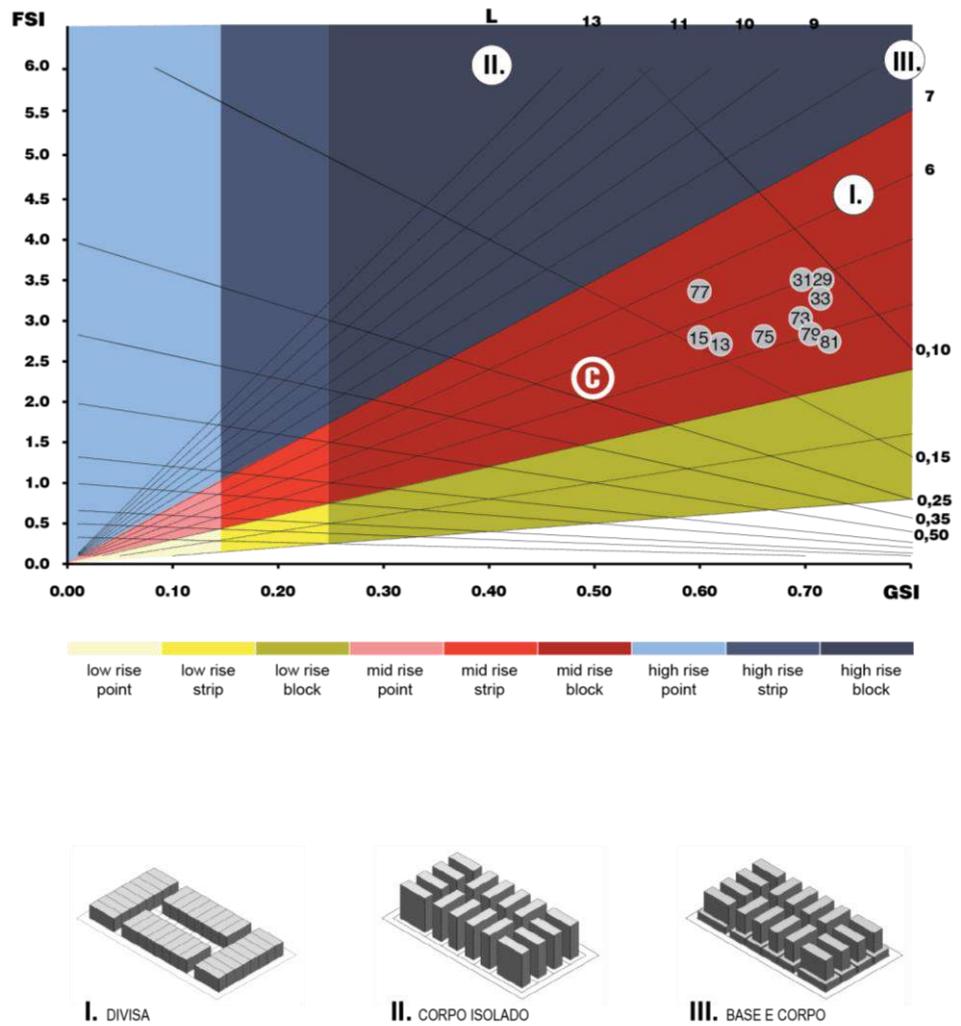
Figura 130: Quarteirões modelo com relação aos resultados alcançados na simulação do Cenário B.

Fonte: Elaborada pela autora.

O mapa de figura e fundo utilizando como base as edificações simuladas demonstram uma tendência oposta à consolidação dos quarteirões como do tipo pátio na aplicação das regras do Plano. Ao observar o quarteirão 31, em posição central na área de estudo, nota-se um progressivo comprometimento do interior do quarteirão com o surgimento de novas construções que invadem o miolo da quadra (Figura 116).

Figura 131: Quarteirões modelo com relação aos resultados alcançados na simulação do Cenário C.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



A situação de comprometimento da configuração do miolo do quarteirão pode ser analisada de acordo com a posição relativa assumida pelo QTR 31 no diagrama (Figura abaixo).



Figura 132: Figura e fundo para Cenário Atual (A), Cenário Simulado PDDUA (B) e o Cenário Simulado PDDUA (C).

Fonte: Elaborada pela autora.

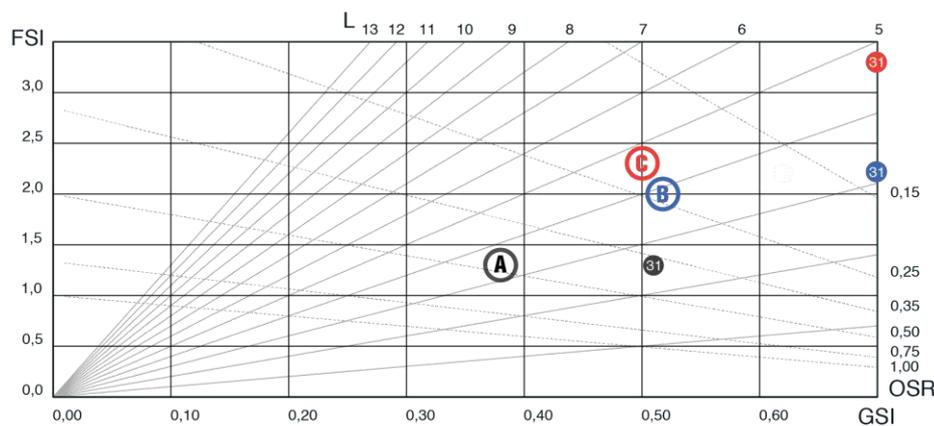


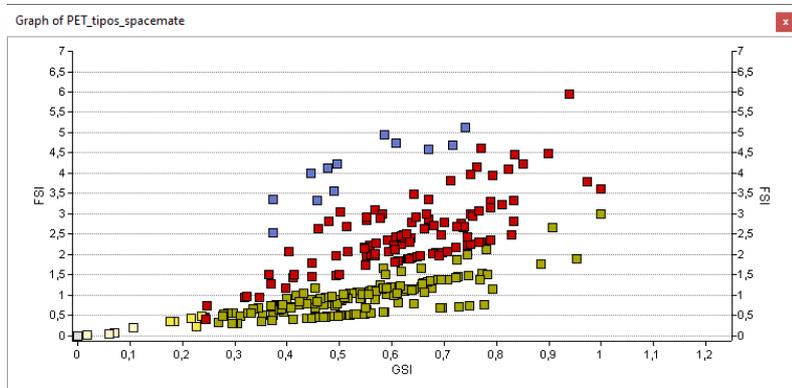
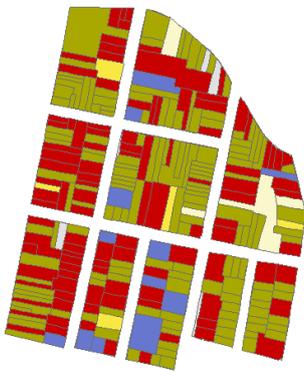
Figura 133: Posição relativa do QTR 31 no Diagrama Spacemate.

Fonte: Elaborada pela autora.

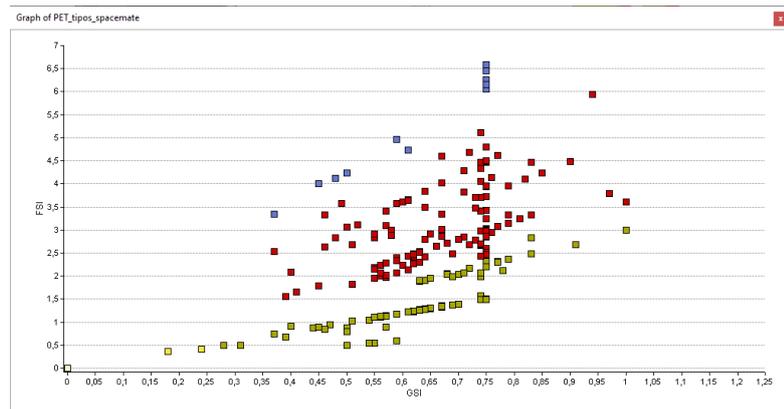
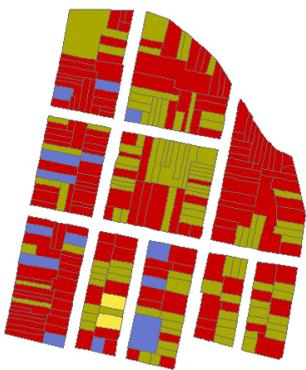


A análise na escala de agregação do lote considerou a correlação entre a ocupação atual (Cenário A) e a simulação de acordo com as regras do 2º PDDUA (Cenário B). O cenário de remembramento de lotes (Cenário C) não será abordado neste item, pois, por desconfigurar o parcelamento original, não permite estabelecer uma relação direta entre cenários. A

Figura abaixo apresenta a descrição de tipologias proposta por Van Nes et al (2012) através da aplicação dos indicadores na escala do lote para os Cenários A e Cenário B. Através da classificação proposta no Diagrama é possível verificar a tendência de uniformização da ocupação com tipologias semelhantes, majoritariamente do tipo mid rise block ou tipo pátio de média densidade. A descrição de tipologias apresentadas nesta seção será confrontada com o cenário alternativo proposto (D), bem como será testado o potencial do Diagrama na descrição qualitativa dos cenários apresentados.



Cenário A



Cenário B

Figura 134:  
Lotes no  
Diagrama  
Spacemate.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

## (ii) Homogeneidade versus Heterogeneidade da Ocupação

No gráfico, a distância relativa entre o Cenário Atual (A) e o Cenário Simulado PDDUA (B)<sup>46</sup> representa o grau de transformação do quarteirão. Em um dos extremos temos o quarteirão 33 com alto grau de transformação e, no limite oposto, o quarteirão 75 com o menor grau de transformação.

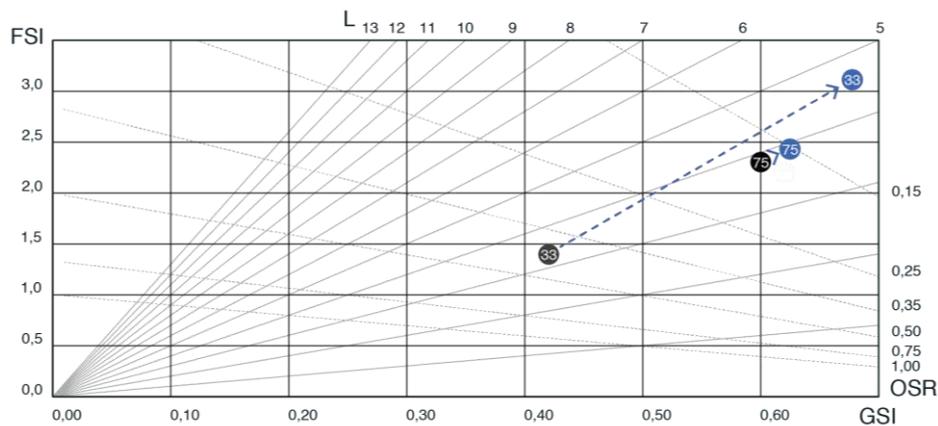
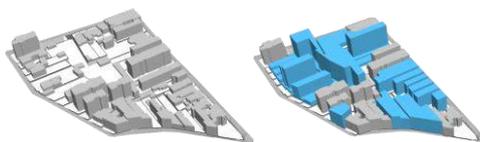
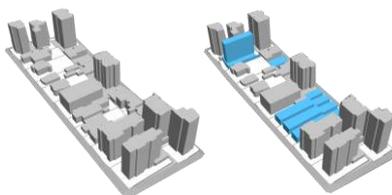


Figura 135: Comparativo entre os quarteirões com maior e menor grau de transformação Cenário B.

Fonte: Elaborada pela autora.



[33] Quarteirão 33 | maior grau de transformação.

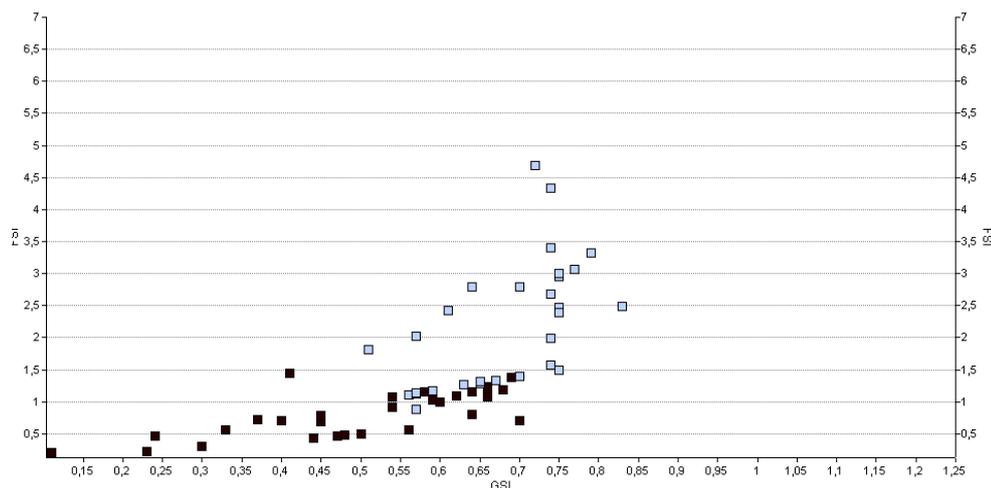


[75] Quarteirão 75 | menor grau de transformação.

<sup>46</sup> Cenário simulado conforme as regras do PDDUA sobre o parcelamento atual.



Considerando o quarteirão 31 para a análise da variação da ocupação de acordo com a aplicação de indicadores na escala do lote, temos os resultados por lote apresentados na Figura abaixo.



\*Cenário A = preto; Cenário B = azul.

Figura 138:  
Comparativo  
da  
transformação  
do quarteirão  
31.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

A posição dos lotes no Cenário B demonstra que, apesar da aparente homogeneidade que poderia ser dada pela simples aplicação de uma taxa de ocupação homogênea não se demonstra através da leitura dos resultados produzidos pelos demais indicadores. Neste caso, o Diagrama se apresenta como ferramenta adequada para estudo da variabilidade da ocupação, permitindo avaliar, qualitativamente, dados quantitativos.

A tendência a heterogeneidade da ocupação resulta da variação morfológica dos lotes sobre os quais se aplicam as regras do Plano. Estabelece-se um paradoxo em que regras homogêneas resultam em ambientes de grande heterogeneidade. Testes para aferir o potencial de utilização do Diagrama Spacemate na análise qualitativa do espaço construído serão realizados na seção seguinte.

### 3.3. Cenário Simulado Alternativo (D)

#### SIMULAÇÃO DE ALTERNATIVAS PARA A OCUPAÇÃO DOS QUARTEIRÕES SELECIONADOS

O potencial construtivo previsto por UEU sofre o impacto de restrições transversais e locais, conforme demonstrado pelas simulações apresentadas. Por restrição transversal, entendem-se aquelas que ultrapassam o limite da Região de Gestão do Planejamento, podendo, inclusive, extrapolar os limites do território municipal. O exemplo de uma restrição transversal na área de estudo é o limite de altura na Zona de Proteção do Aeroporto Internacional Salgado Filho. Em outra escala, as restrições locais representam condicionantes estabelecidos a partir dos menores níveis de agregação. Os limites geométricos dos lotes para a aplicação dos dispositivos de controle volumétrico das edificações são o exemplo de uma restrição local.

A diferença entre o potencial construtivo previsto pelo Plano e a ocupação possível considerando as restrições locais tem como resultado o potencial construtivo possível por quarteirão e, portanto, a defasagem entre o modelo do PDDUA e a situação real. Nos Cenários B e C, esta defasagem fica clara a partir da análise do quadro comparativo entre o potencial construtivo previsto e o atingido em cada um dos cenários.

A construção do Cenário Alternativo (Cenário D), que utilizou como premissa a execução do potencial construtivo previsto dentro dos limites da área de estudo associando restrições transversais e locais, deverá permitir dois tipos de calibragem:

CALIBRAGEM DE DENSIDADES: calibragem do potencial construtivo dentro dos limites da UEU, levando em consideração as restrições locais, propondo a redistribuição do potencial construtivo nos quarteirões incidentes nos limites da UEU de forma a garantir a execução integral da densidade prevista no Plano;

CALIBRAGEM DE TIPOLOGIAS: calibragem de tipologias dentro dos quarteirões de forma a consolidar os tipos predominantes identificados nos quarteirões e/ou faces de quarteirões em estudo.

Um dos métodos utilizados para calibragem espacial da relação entre tipologias e densidades com as restrições transversais e locais é a delimitação de um envelope máximo edificável para o quarteirão. As Figuras abaixo ilustram o exemplo do uso desta estratégia na legislação catalã, através da estruturação dos chamados gálivos<sup>47</sup> ou gabaritos. Neste modelo, o envelope é pensado com volumetria capaz de abrigar um potencial construtivo superior ao do quarteirão, de forma que a volumetria final da edificação fica contida com um espaço de sobra no interior do gabarito. A Figura abaixo demonstra uma situação real dentro dos limites do Projeto @22<sup>48</sup>, representando graficamente o espaço para desenho arquitetônico disponibilizado pelo modelo dentro dos limites do gabarito ou envelope.

---

<sup>47</sup> Portal d'Informació Urbanística (PIU). Disponível online em: <<https://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/ca/serveis/la-ciutat-funciona/urbanisme-i-gestio-del-territori/informacio-urbanistica/portal-informacio-urbanistica>>.

<sup>48</sup> Proyecto 22@Barcelona. Disponível online em: <<http://www.22barcelona.com/content/blogcategory/49/280/lang,es/>>.

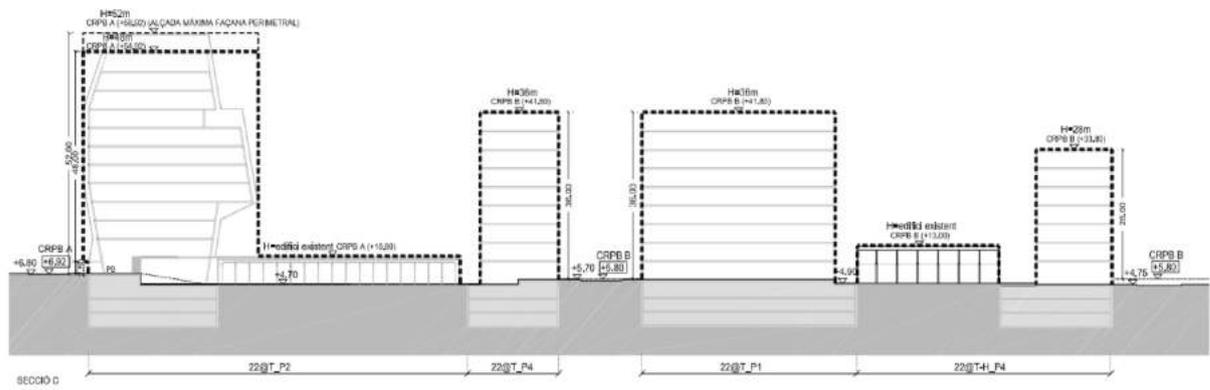


Figura 139:  
Corte  
esquemático  
demonstrando  
o perfil  
máximo  
edificável no  
quarteirão da  
paisagem  
construída  
resultante.

Fonte:  
BARCELONA  
, 2014.

A Tabela abaixo demonstra as restrições consideradas para a construção dos envelopes no Cenário Alternativo (D):

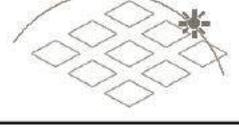
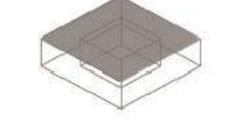
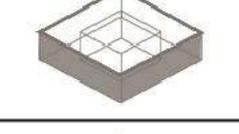
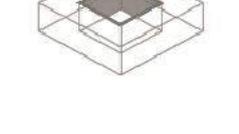
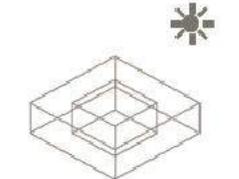
<u>CONDICIONANTES TRANSVERSAIS</u>		
	<u>ALTURA MÁXIMA RESTRIÇÃO AEROPORTO</u>	A altura máxima dada pelo Plano Básico de Zona de Proteção de Aeródromo do Aeroporto Salgado Filho.
	<u>ALTURA EIXOS</u>	A altura nos eixos é variável, não apresentando um padrão para a área de estudo. Alturas de compatibilização serão consideradas na escala local.
	<u>ALINHAMENTO FRONTAL DO CONJUNTO</u>	O alinhamento das edificações nos eixos também é variável e, assim como no caso das alturas, terá sua compatibilidade ajustada na escala local.
	<u>INSOLAÇÃO E ILUMINÂNCIA</u>	Os testes de insolação e iluminância serão realizados para o conjunto, analisando comparativamente o desempenho dos Cenários A, B, C e D.
<u>CONDICIONANTES LOCAIS</u>		
	<u>ALTURA COMPATIBILIZAÇÃO COM PRÉ EXISTÊNCIAS</u>	Para cada face de quarteirão, as alturas serão ajustadas de acordo com as relações de vizinhança com as edificações caracterizadas como permanências.
	<u>ALINHAMENTO FRONTAL COM PRÉ EXISTÊNCIAS</u>	O alinhamento frontal será analisado localmente de acordo com as relações de vizinhança com as pré-existências.
	<u>ALINHAMENTO DE FUNDOS</u>	Como critério para estabelecer o alinhamento de fundos, mais do que as relações de vizinhança estabelecidas com as pré-existências, será considerado como parâmetro a consolidação dos quarteirões do tipo pátio.
	<u>INSOLAÇÃO E ILUMINÂNCIA</u>	Os testes de insolação e iluminância serão realizados para o conjunto, analisando comparativamente o desempenho dos Cenários A, B, C e D.

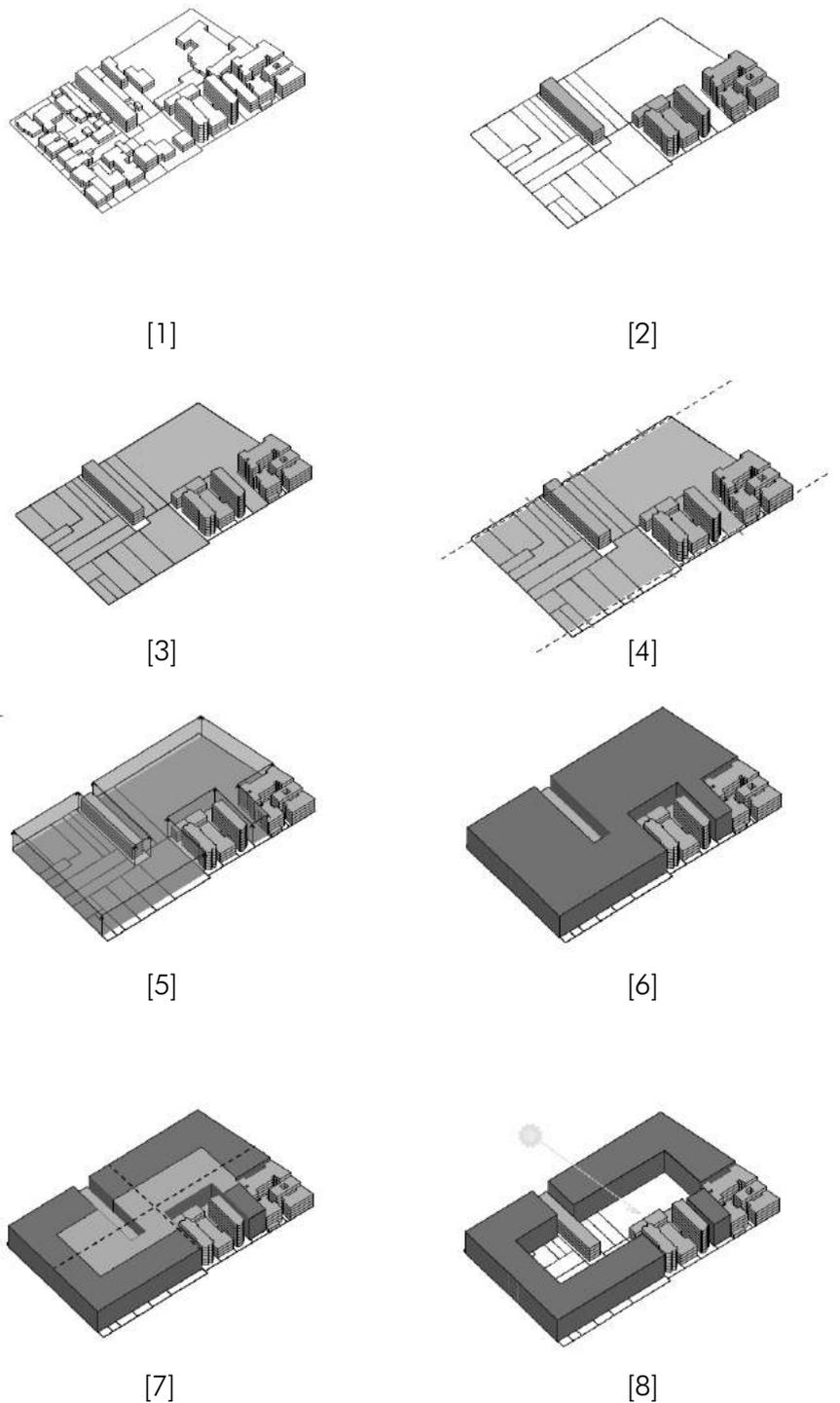
Tabela 12:  
Condicionantes top-down considerados na construção do Cenário Alternativo (D).

Fonte:  
Elaborada pela autora.

As Figuras abaixo ilustram o procedimento para a aplicação das restrições transversais e locais na definição de envelopes máximos para a volumetria das edificações no Cenário D: [1] situação atual; [2] permanências (i.a.>50%); [3] espaço para desenho no solo; [4] alinhamentos; [5] levantamento do gabarito; [6] gabarito 3D; [7] recuo de fundos; e [8] desempenho ambiental, iluminância e insolação.

Figura 140:  
Processo de  
construção do  
Cenário  
Alternativo (D).

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



A utilização do procedimento descrito acima aplicado aos quarteirões delimitados dentro da área de estudo resultou na construção do Cenário D (Figura 126). Como forma de calibrar o potencial construtivo não executado em função da presença de imóveis de interesse histórico inseridos nos quarteirões, três pontos foram selecionados para delimitação de edificações em altura (quarteirões 13, 33 e 73).

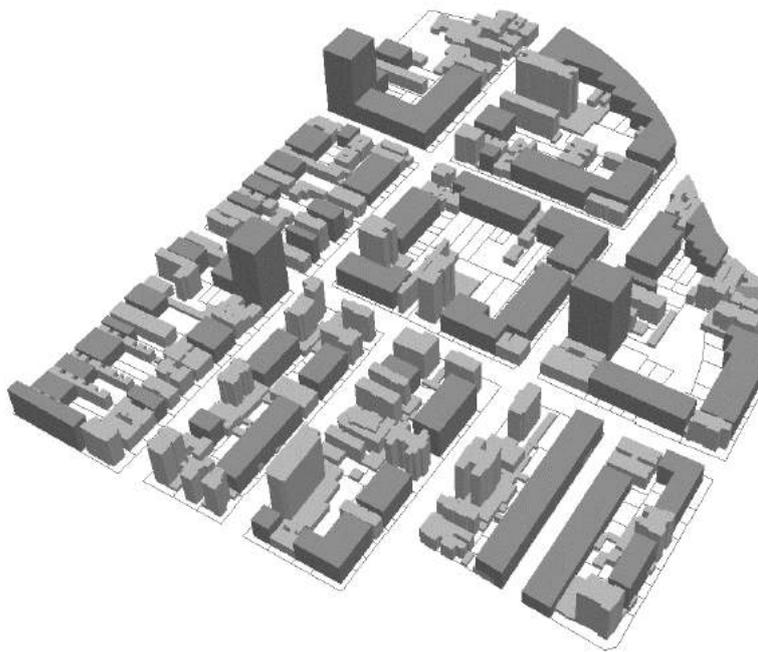


Figura 141:  
Cenário  
Alternativo (D).

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

O quadro comparativo do potencial construtivo executado nos 4 (quatro) cenários, resultou nos valores ilustrados abaixo:

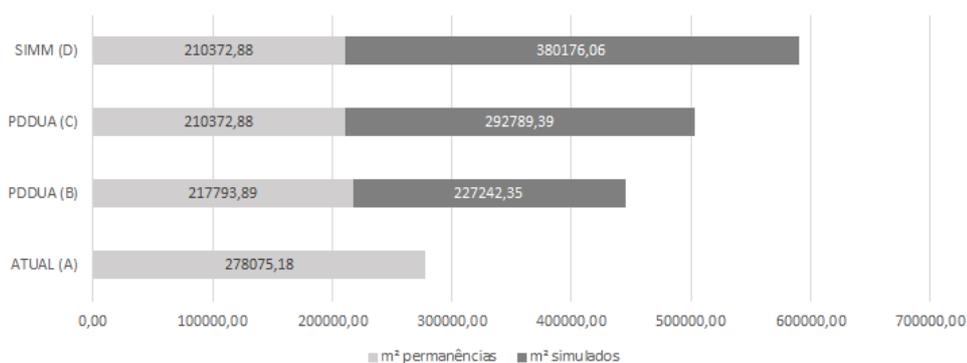


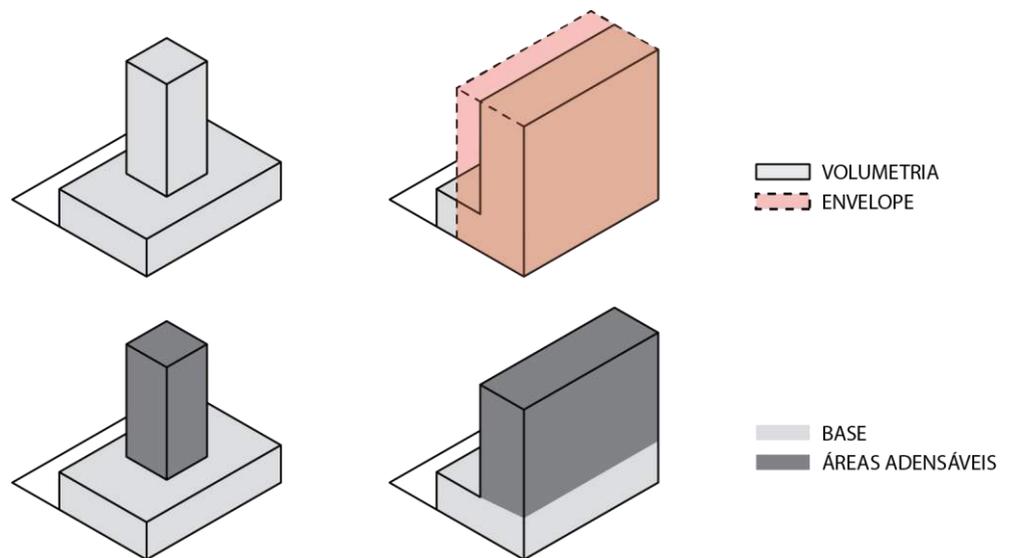
Figura 142:  
Potencial  
construtivo por  
Cenário (m²).

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

Para fins de simplificação do modelo proposto, o potencial construtivo correspondente às áreas não adensáveis destinadas à estacionamentos e que, no modelo atual, se localizam na base, foram distribuídas na volumetria proposta. Esta decisão não afeta a análise de desempenho, uma vez que se concentra sobre as áreas adensáveis no modelo, conforme demonstrado no diagrama abaixo.

Figura 143:  
Envelope e  
Relação Base  
e Corpo da  
Edificação.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



O Cenário D, quando comparado ao Cenário B, apresenta um potencial construtivo 25% maior, permitindo a flexibilidade da ocupação da edificação final dentro do espaço do envelope. As seções seguintes apresentam o uso da metodologia proposta por Berghauer Pont e Haupt (2009) para aferição do potencial de utilização do método na descrição das diferenças entre as ocupações propostas nos Cenários A, B e D<sup>49</sup>.

<sup>49</sup> Para a análise comparativa entre Cenários, o Cenário C foi desconsiderado por tratar-se de alteração no parcelamento existente.

### (i) Calibragem de Tipologias

As Figuras abaixo apresentam a localização dos quarteirões para os quatro cenários no Diagrama Spacemate.

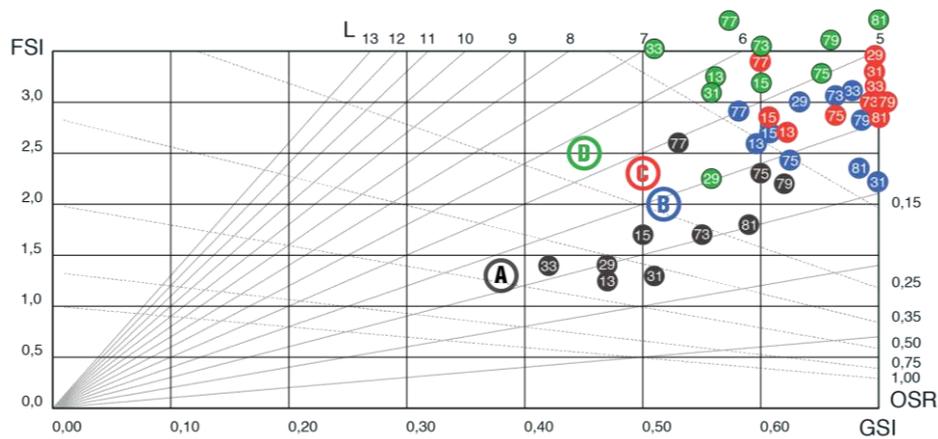


Figura 144: Localização dos quarteirões selecionados no Diagrama Spacemate para os 4 (quatro) Cenários.

Fonte: Elaborada pela autora.

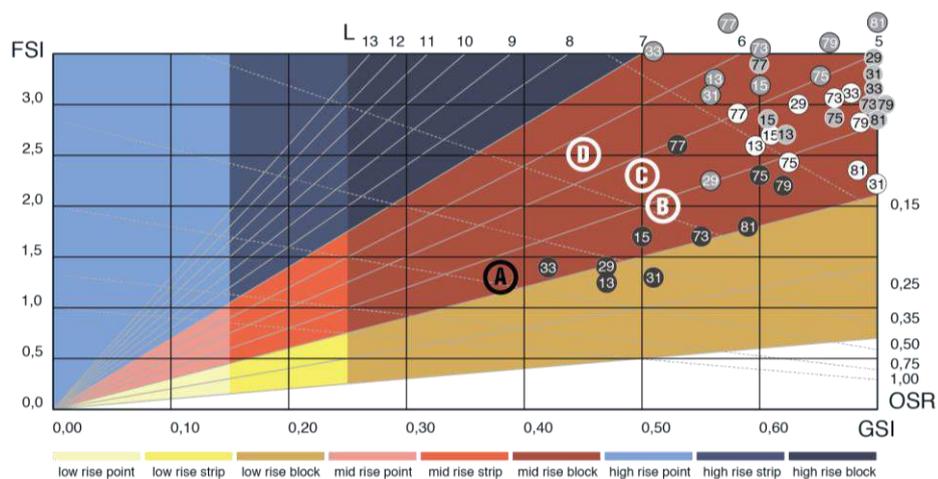
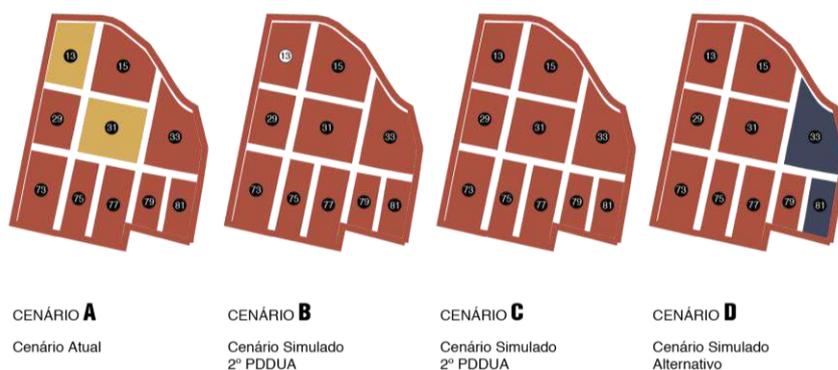


Figura 145: Quarteirões no Diagrama Spacemate e tipologias relacionadas.

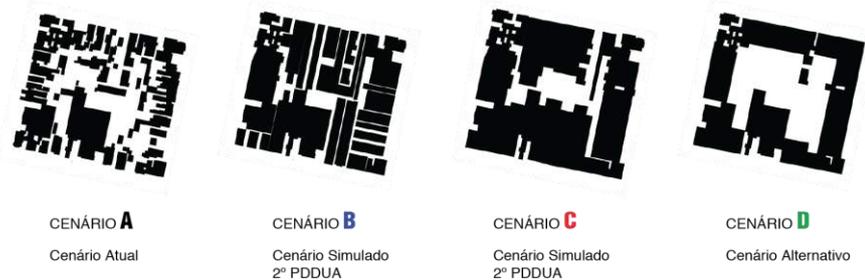
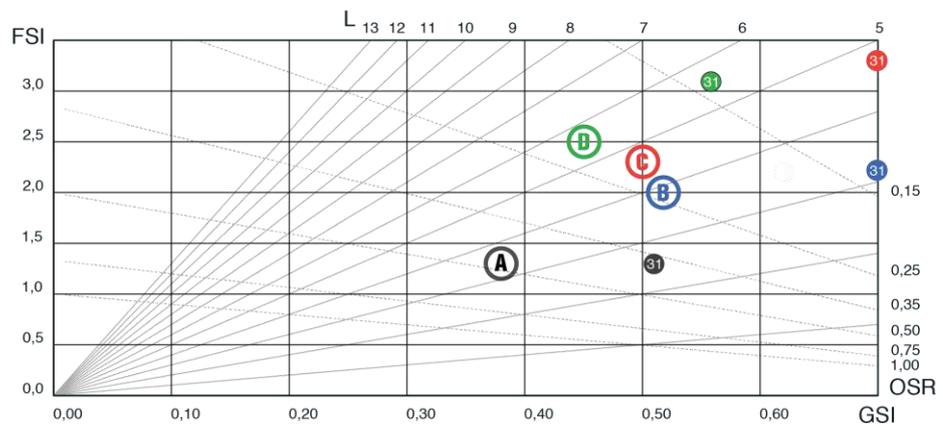
Fonte: Elaborada pela autora.



A transformação tipo morfológica dos quarteirões se mantém, para os quatro cenários, dentro da categoria mid rise block ou tipo pátio, variando da baixa-média densidade no cenário atual à média-alta densidade no cenário proposto. Considerando a posição relativa dos quarteirões para cada cenário, temos duas situações: quarteirões que apresentam posições distintas para cada cenário, caso do QTR 31 (Figura 130); e quarteirões com posição semelhante, caso do QTR 15.

Figura 146: Localização do quarteirão 31 no Diagrama Spacemate para os 4 (quatro) Cenários.

Fonte: Elaborada pela autora.



Utilizando o QTR 31 como modelo para a comparação, é possível identificar que o uso potencial da ferramenta para as decisões sobre a morfologia do quarteirão reside na associação da expressão volumétrica da solução dada com a relação entre indicadores no Diagrama (FSI/GSI/L/OSR). A associação entre parâmetros permite o ajuste de valores na calibragem da forma resultante da densidade pretendida. No exercício proposto nesta pesquisa, manteve-se constante o potencial construtivo (densidade), linha de base de FSI, ajustando-se os valores de

GSI/L/OSR. Através deste ajuste, criam-se alternativas volumétricas para a execução do potencial construtivo e, desta forma, da densidade pretendida. O aumento do GSI relativo das quadras simuladas no Cenário D com os Cenários B e C resultou da decisão em consolidar o tipo pátio através não apenas da redução da TO, mas da concentração de espaço livre no miolo do quarteirão.

As Figuras abaixo ilustram a comparação entre as tipologias básicas identificadas no Diagrama Spacemate para os lotes nos cenários A, B e D<sup>50</sup>. No Cenário A se nota uma maior dispersão dos elementos no gráfico. Já nos Cenários B e D, nota-se um arranjo espacial da ocupação dos lotes, porém com parâmetros controlados distintos: no Cenário B o indicador que apresenta desempenho coincidente entre os lotes é o GSI; enquanto no Cenário D a tendência de organização é a partir do indicador L. Essa variação de resultados demonstra o potencial do Diagrama no reconhecimento das diferentes expressões volumétricas para um mesmo potencial construtivo. A consolidação do tipo pátio através do Cenário D é evidenciada pela presença exclusiva destes tipos na análise do resultado por lote, variando apenas em intensidade de ocupação:

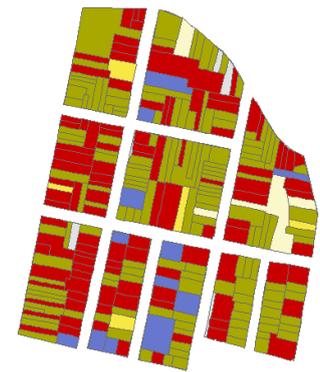
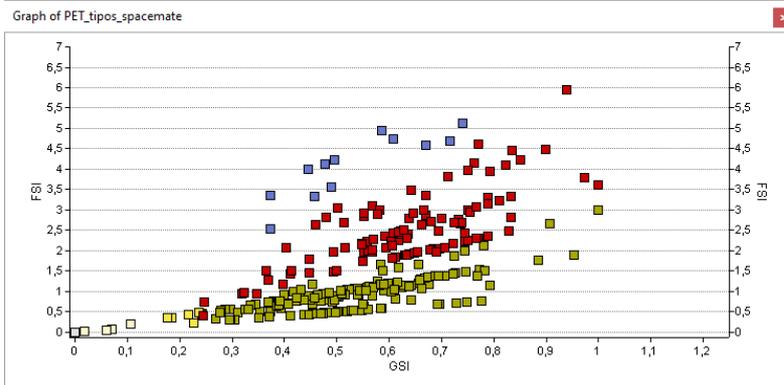
Baixa: concentrada nos lotes em que foram mantidas edificações de interesse histórico;

Média: predominante para os lotes analisados;

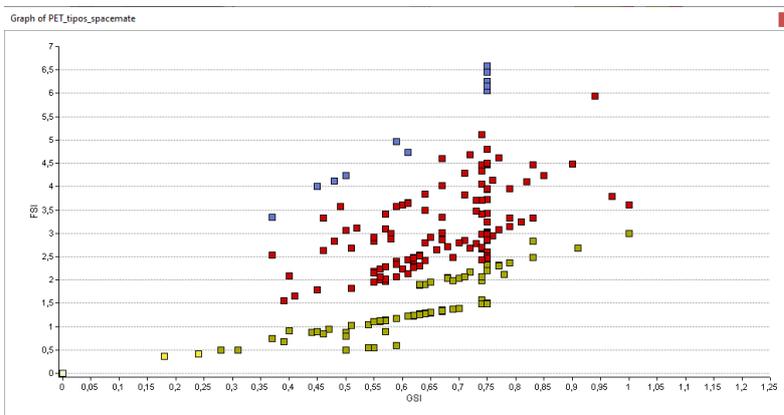
Alta: em edificações existentes e nos lotes com proposta de maior altura.

---

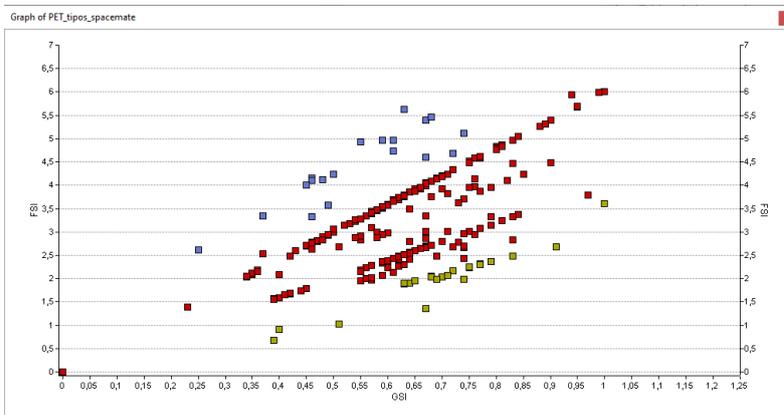
<sup>50</sup> Teste realizado com os cenários simulados sobre o mesmo parcelamento.



Cenário A



Cenário B



Cenário D

Figura 147:  
Lotes no  
Diagrama  
Spacemate.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

A relação entre o ajuste de parâmetros propostos no Cenário D, bem como do resultado na morfologia do quarteirão, e o desempenho das formas resultantes será testado nas seções seguintes.

### **(ii) Calibragem de Densidades**

O potencial de transformação do quarteirão pode ser associado diretamente a distância relativa entre o quarteirão original e o quarteirão simulado dentro do Diagrama Spacemate: quanto menor a distância, menor a renovação; quanto maior a distância, maior a renovação.

Neste sentido, o Diagrama demonstrou-se adequado na calibragem de densidades, tendo seu uso aplicado na identificação das seguintes situações, considerando os Cenários A e B:

Quarteirões com baixo potencial de renovação: menor distância entre (A) e (B), em que podem ocorrer duas situações:

- Possibilidade de revisão de regras, sem comprometer as condições de habitabilidade, de forma a permitir a execução integral do potencial construtivo previsto para o quarteirão;
- Impossibilidade de construção do potencial construtivo dentro do quarteirão devido à presença de restrições legais, condição em que o quarteirão poderá transferir o potencial excedente para outro quarteirão no entorno;

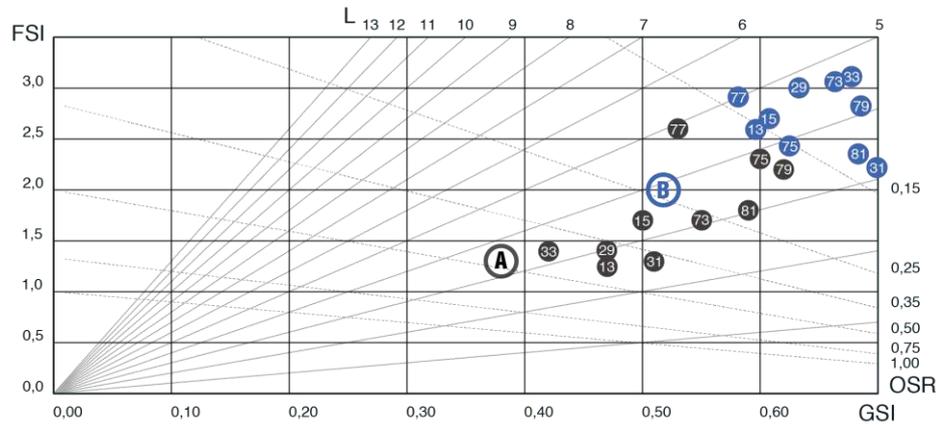
Quarteirões com alto potencial de renovação: maior distância entre (A) e (B) onde o potencial construtivo previsto no 2ºPDDUA pode ser integralmente executado, em que se pode:

- Avaliar as condições de habitabilidade resultante para revisão dos parâmetros, caso necessário.

A Figura abaixo ilustra a posição relativa entre os quarteirões apresentados no Cenário Atual (A) e o Cenário Simulado (B), conforme o potencial de renovação.

Figura 148:  
Distância  
relativa entre  
os quarteirões  
simulados no  
Cenário B e a  
origem no  
Cenário A.

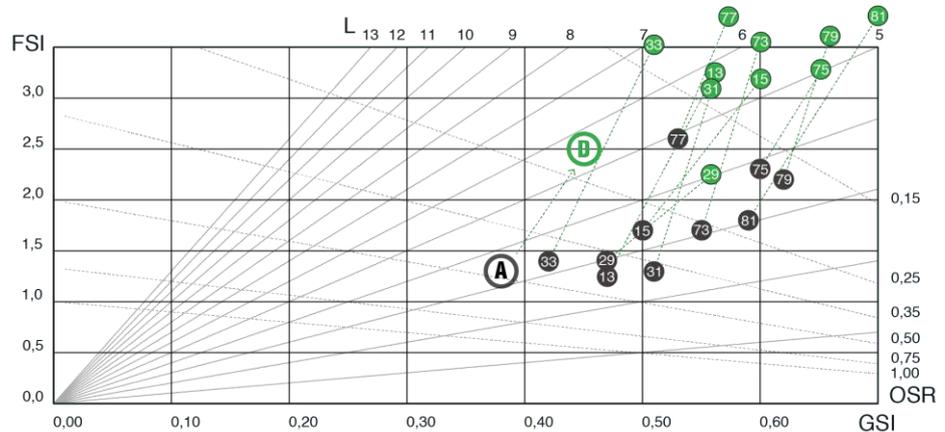
Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



A Figura abaixo ilustra a posição relativa entre os quarteirões apresentados no Cenário Atual (A) e o Cenário Alternativo Simulado (D), ajustados de acordo com o potencial de renovação identificado.

Figura 149:  
Distância  
relativa entre  
os quarteirões  
simulados no  
Cenário D e a  
origem no  
Cenário A.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



Neste quadro, os quarteirões com alto grau de transformação - mais precisamente os QTR 13 e 33 - tratam-se daqueles em que houve a inserção de pontos de maior altura como forma de compensação de restrições à execução do potencial construtivo em outros pontos da área de estudo. Para a calibragem do modelo, a análise deste nível de

consolidação e, por outro lado, do potencial de renovação dos bairros, torna-se fundamental. A relação entre a posição relativa dos bairros, dessa forma, torna-se a expressão do ajuste do potencial construtivo entre os bairros selecionados.

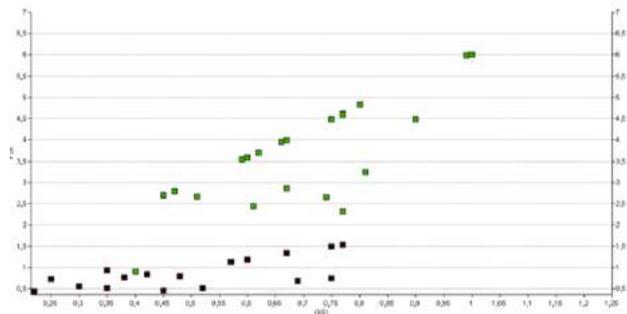


Figura 150: Bairros com maior transformação na proposta.

Fonte: Elaborada pela autora.

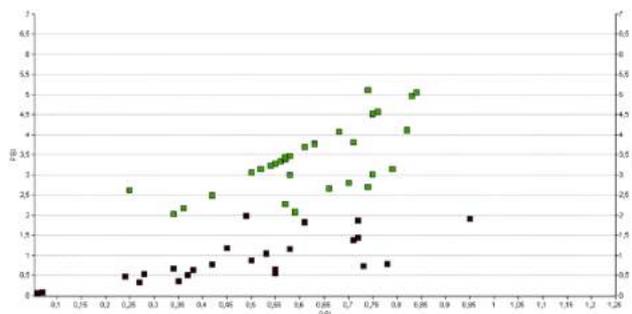


Cenário A



Cenário D

QTR 13



Cenário A



Cenário D

QTR 33

As associações entre indicadores no Diagrama Spacemate e o desempenho ambiental dos cenários resultantes serão detalhadas a seguir.

## 4. RESULTADOS

Na quarta e última parte desta dissertação são apresentados a análise comparativa do potencial construtivo atingido para cada cenário e o desempenho ambiental dos cenários. Para este fim, o Capítulo de Resultados está estruturado da seguinte forma:

### 4.1.

#### Potencial Construtivo

- Apresentação do quadro comparativo do potencial construtivo total alcançado para cada um dos cenários simulados.

### 4.2.

#### Desempenho Ambiental

- Comparação do desempenho ambiental dos cenários simulados com relação a parâmetros de referência para insolação e iluminância.

## 4.1. Potencial Construtivo

Uma das premissas da construção dos cenários apresentados nesta pesquisa é a previsão de potencial construtivo equivalente. Desta forma, garante-se que as soluções volumétricas apresentadas em A, B, C e D possuem potencial para densidades também equivalentes. A Figura 151 ilustra o potencial construtivo total executado para cada um dos cenários simulados e a Tabela 13 apresenta o potencial construtivo para cada um dos quarteirões de acordo com o cenário.



Figura 151:  
Potencial  
construtivo  
para cada um  
dos cenários.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

Tabela 13:  
Potencial  
construtivo por  
quarteirão  
simulado.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

	QTR	Existente	Simulado	Total
ATUAL (A)	13	20781,13	0	20781,13
	15	39272,24	0	39272,24
	29	20618,88	0	20618,88
	31	30329,28	0	30329,28
	33	31925,16	0	31925,16
	73	31116,69	0	31116,69
	75	27850,59	0	27850,59
	77	39300,26	0	39300,26
	79	19509,72	0	19509,72
	81	17371,23	0	17371,23
	FABRIC	278075,18	0	278075,18
PDDUA (B)	13	14870,59	27576,78	42447,37
	15	30150,34	28481,43	58631,77
	29	16175,64	27104,63	43280,27
	31	19707,26	30164,63	49871,89
	33	22612,97	50329,16	72942,13
	73	23551,45	34274,77	57826,22
	75	24365,17	4979,54	29344,71
	77	35244,05	8224,33	43468,38
	79	17885,64	6554,82	24440,46
	81	13230,78	9552,26	22783,04
	FABRIC	217793,89	227242,35	445036,24
PDDUA (C)	13	14870,56	28436,21	43306,77
	15	30150,38	31525,36	61675,74
	29	13066,63	37128,97	50195,60
	31	15086,74	63822,42	78909,16
	33	23917,53	50110,90	74028,43
	73	22555,29	33331,59	55886,88
	75	24365,17	10441,51	34806,68
	77	35244,05	16078,29	51322,34
	79	17885,71	8625,41	26511,12
	81	13230,82	13288,73	26519,55
	FABRIC	210372,88	292789,39	503162,27
SIMM (D)	13	14870,56	40697,24	55567,80
	15	30150,38	52586,83	82737,21
	29	13066,63	17325,58	30392,21
	31	15086,74	47031,12	62117,86
	33	23917,53	58303,26	82220,79
	73	22555,29	43376,61	65931,90
	75	24365,17	28644,34	53009,51
	77	35244,05	41954,05	77198,10
	79	17885,71	23606,32	41492,03
	81	13230,82	26650,71	39881,53
	FABRIC	210372,88	380176,06	590548,94

Analisando o potencial construtivo atingido em cada um dos quarteirões é possível verificar o desempenho de acordo com este parâmetro para cada um dos cenários simulados (Figura 152). Desta comparação, depreende-se que o maior potencial construtivo atingido em D não ocorre de forma similar para todos os quarteirões do tecido urbano analisado: o aumento do potencial é atingido pelo conjunto, na calibragem da sua distribuição entre os quarteirões de acordo com as restrições existentes. A metodologia proposta para o cenário D permite, para alguns quarteirões a ampliação do potencial construtivo possível a partir do remembramento de lotes urbanos. Para outros, em menor número, mantém valores abaixo do previsto com o remembramento. Apenas em um dos casos o cenário D fica abaixo do previsto com a aplicação do regime urbanístico de acordo com o 2º PDDUA.

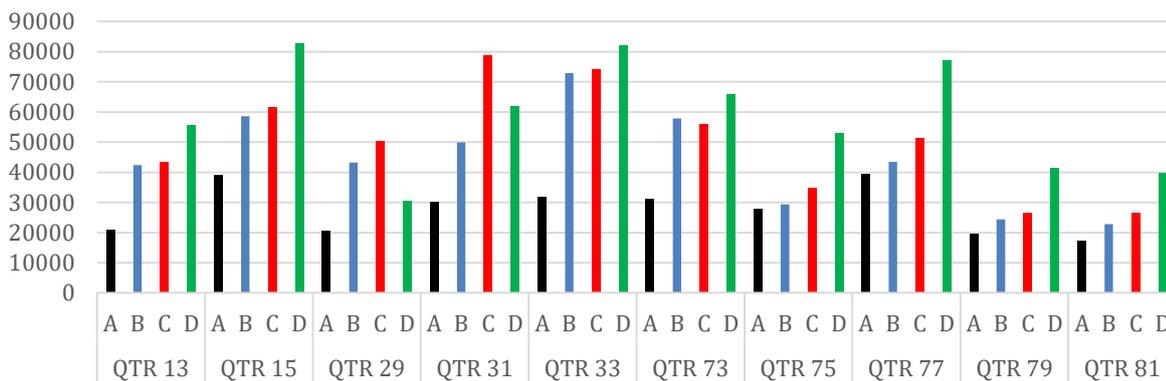


Figura 152:  
Gráfico comparativo do potencial construtivo por quarteirão para cada cenário.

Fonte:  
Elaborada pela autora.

A seguir, apresenta-se a análise de desempenho ambiental dos cenários simulados.

## 4.2. Desempenho Ambiental

### ANÁLISE DO DESEMPENHO AMBIENTAL DOS CENÁRIOS SIMULADOS

Um dos maiores desafios na garantia da qualidade ambiental de ambientes urbanos no processo de densificação é o acesso a níveis adequados de iluminação natural e insolação. Métodos para avaliação do acesso à iluminação natural e à insolação em ambientes urbanos são caracterizados pela definição de parâmetros de desempenho e técnicas específicas (SCALCO et al, 2010). Ferramentas computacionais para a simulação de cenários têm desempenhado um papel fundamental neste processo, permitindo antecipar o impacto de novas construções sobre tecidos consolidados.

As seções seguintes descrevem o uso do software CityZoom na avaliação de desempenho ambiental dos Cenários apresentados, especificando os parâmetros e técnicas utilizados nesta avaliação.

#### (i) Análise de Insolação

A análise de insolação considerou como parâmetro para classificação de resultados o número de horas em que cada face do modelo permanece sombreada em determinada época do ano. Na análise, foi considerado o acesso ao sol no período de um dia, para quatro datas de referência:

Ano	Equinócio Março		Solstício Junho		Equinócio Setembro		Solstício Dezembro	
	Dia	Hora	Dia	Hora	Dia	Hora	Dia	Hora
2019	20	21:58	21	15:54	23	07:50	22	04:19

*Tabela 14:  
Datas de  
referência  
utilizadas para  
a análise de  
insolação.*

*Fonte:  
Elaborada  
pela autora.*

Para evitar as distorções causadas pela ausência de vizinhança imediata no perímetro da área de estudo, a avaliação de cada cenário foi realizada a partir de duas situações capazes de captar dois tipos básicos de relação de vizinhança:

(a) quarteirão central: selecionando os lotes do quarteirão 31 para a análise de desempenho das faces e miolo;

(b) eixo viário: selecionando os lotes do eixo da Rua Coronel Corte Real entre a Av. Protásio Alves e a Rua Dr. João Dutra, desconsiderando os lotes nos extremos (sem vizinhança imediata) para análise da caixa viária.

A Figura 154 ilustra o desempenho do quarteirão 31 para o solstício de inverno. A classificação das faces de acordo com os intervalos definidos foi normalizada por cenário de acordo com o percentual de superfície total por intervalo.



Figura 153:  
Lotes  
selecionados  
para análise  
de  
desempenho  
comparativa  
entre cenários.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

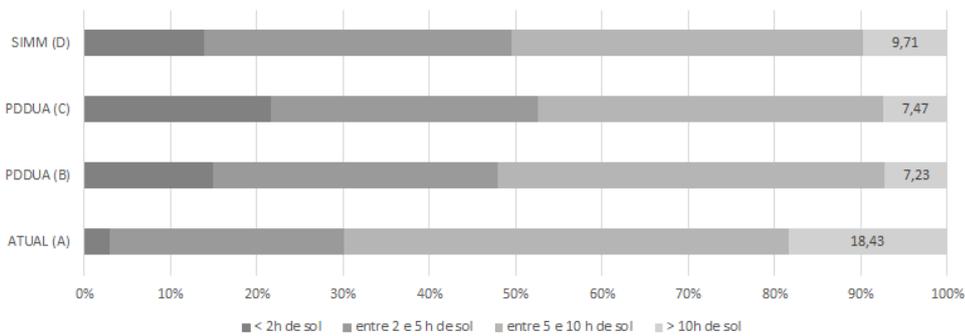


Figura 154: Análise de Desempenho Ambiental dos Cenários para o QTR 31 | Insolação | Solstício de Inverno (21/06/2019).

Fonte:  
Elaborada pela autora.

Como situação crítica, considerou-se que as fachadas deveriam receber insolação por no mínimo duas horas no solstício de inverno. Em relação a este critério, o desempenho ambiental do QTR 31 em cada um dos cenários ficou de acordo com o demonstrado na Figura abaixo.

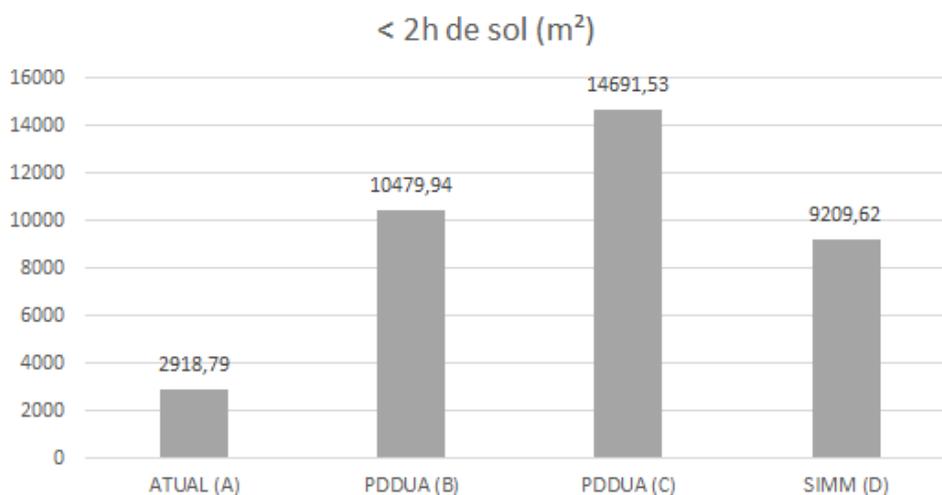
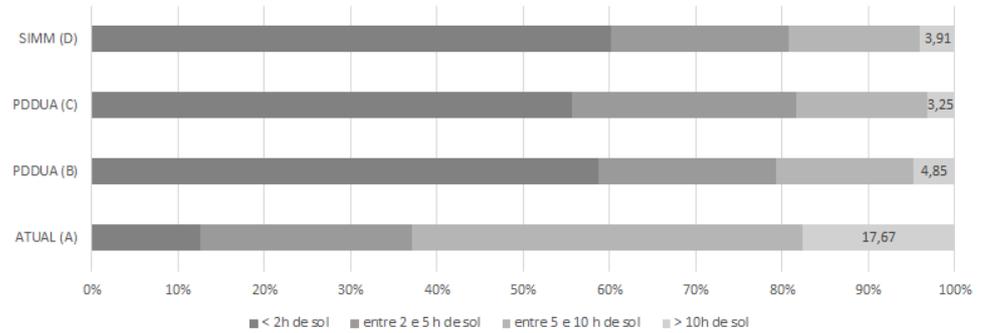


Figura 155: Superfície com menos de 2h de Sol no Solstício de Inverno para o QTR 31.

Fonte:  
Elaborada pela autora.

A Figura 156 e a Figura 157, na sequência, ilustram as mesmas análises para o Eixo Selecionado da Rua Coronel Corte Real.

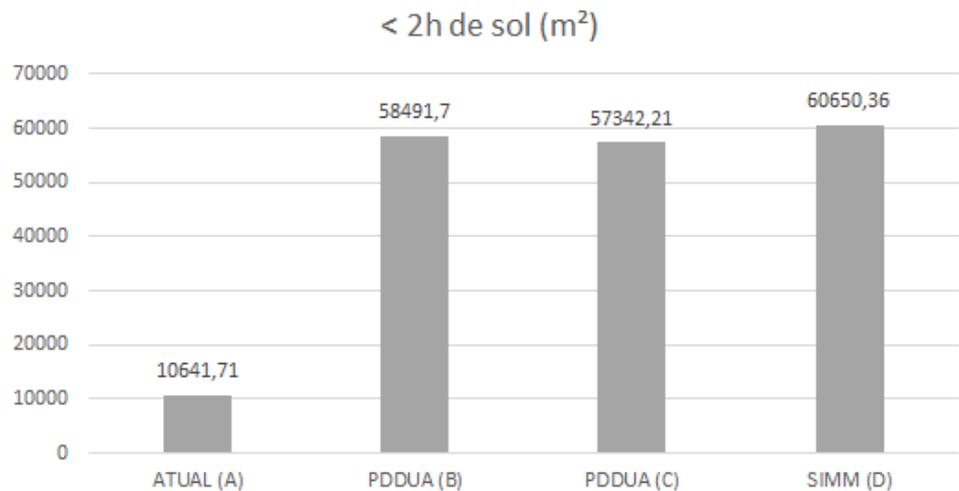
Figura 156:  
Análise de Desempenho Ambiental dos Cenários para o Eixo Selecionado | Insolação | Solstício de Inverno (21/06/2019).



Fonte:  
Elaborada pela autora.

O desempenho superior do Cenário D, mesmo considerando a execução integral nos limites do envelope com área construída, neste caso, superior aos Cenários B e C, permite fazer associações entre os resultados e os parâmetros adotados para o desenho do cenário alternativo.

Figura 157:  
Superfície com menos de 2h de Sol no Solstício de Inverno para o Eixo Selecionado.



Fonte:  
Elaborada pela autora.

## (ii) Análise de Iluminância

A análise de iluminância no CityZoom mede a incidência de luz natural sobre as faces do modelo para uma determinada configuração específica de céu. Considerando-se o céu padrão CIE Standard Overcast Sky<sup>51</sup> e um valor de intensidade de 10.000 lux, a análise de iluminância foi aplicada para os 4 (quatro) cenários. Para a análise comparativa entre cenários, os resultados foram normalizados de acordo com o percentual de face do envelope por intervalo de iluminância.

Utilizando novamente o quarteirão 31 como base para a avaliação de desempenho, temos os resultados abaixo:

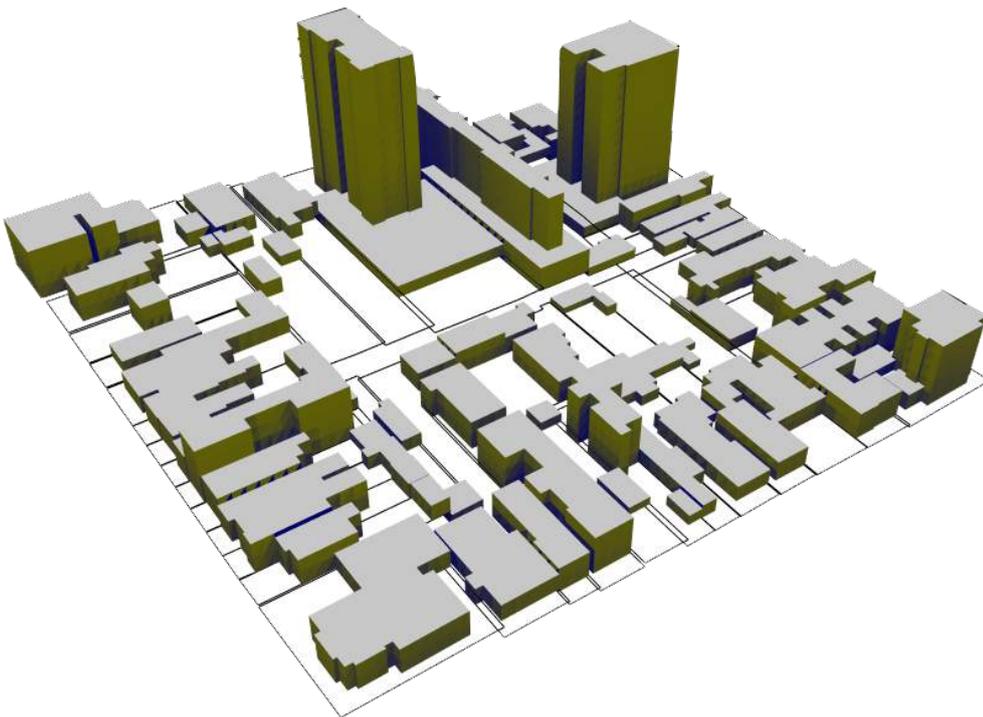


Figura 158:  
Análise de  
Iluminância |  
Cenário A.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

---

<sup>51</sup> Céu padrão nublado de acordo com os parâmetros disponibilizados pela Comissão Internacional de Iluminação - International Commission on Illumination - CIE.

Disponível online em: <<http://www.c0.at/ci/publications/cie-standard-overcast-sky-and-clear-sky>>.

Figura 159:  
Análise de  
Iluminância |  
Cenário B.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

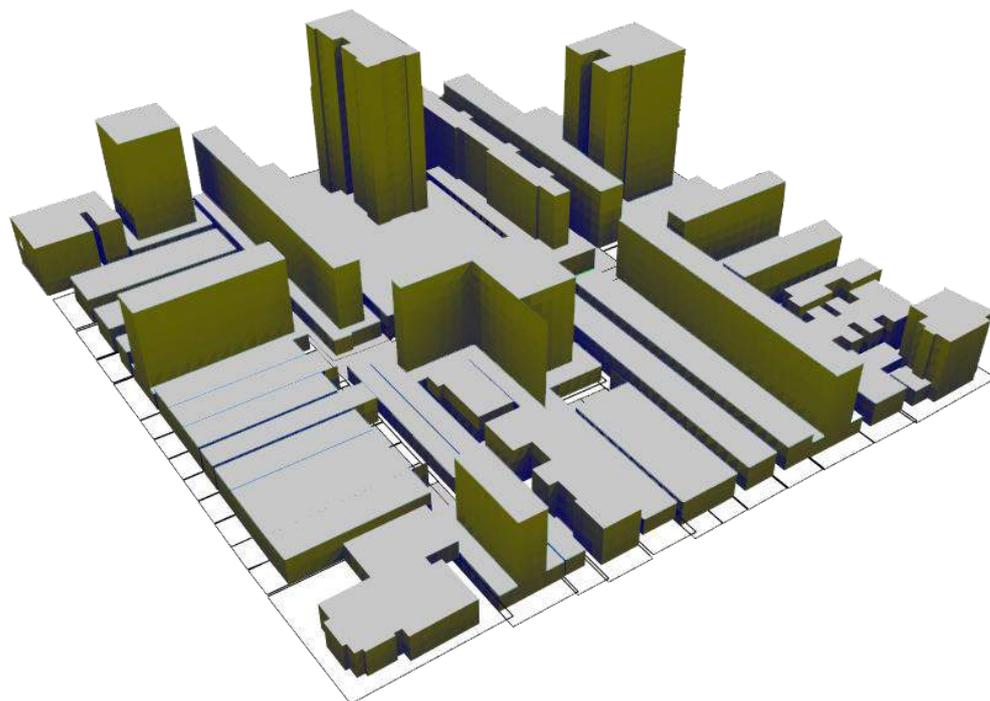
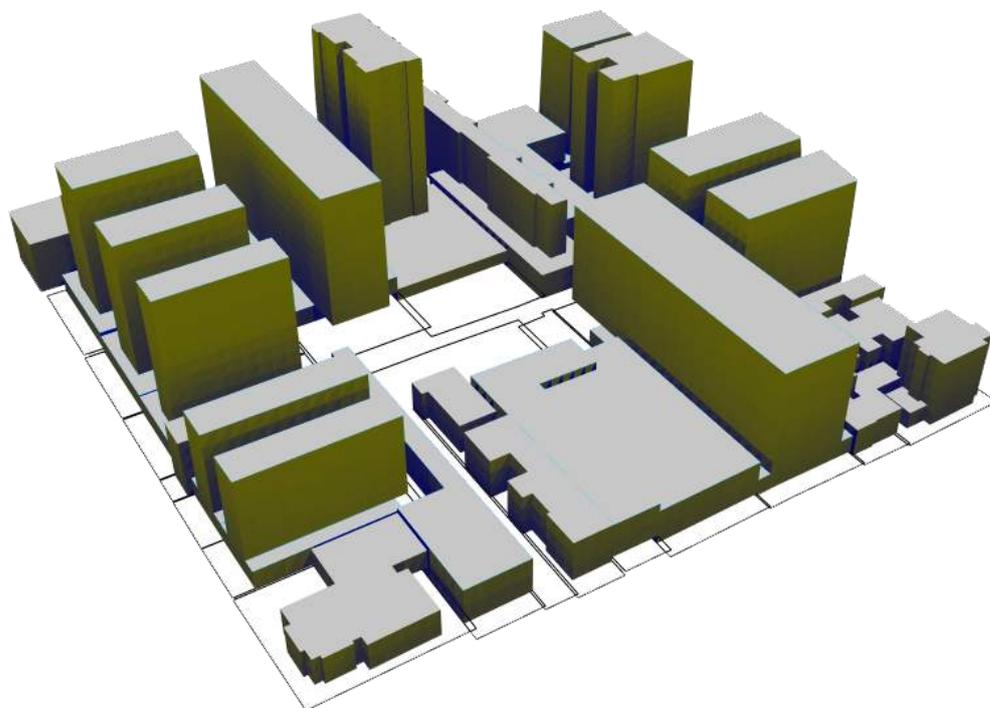


Figura 160:  
Análise de  
Iluminância |  
Cenário C.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.



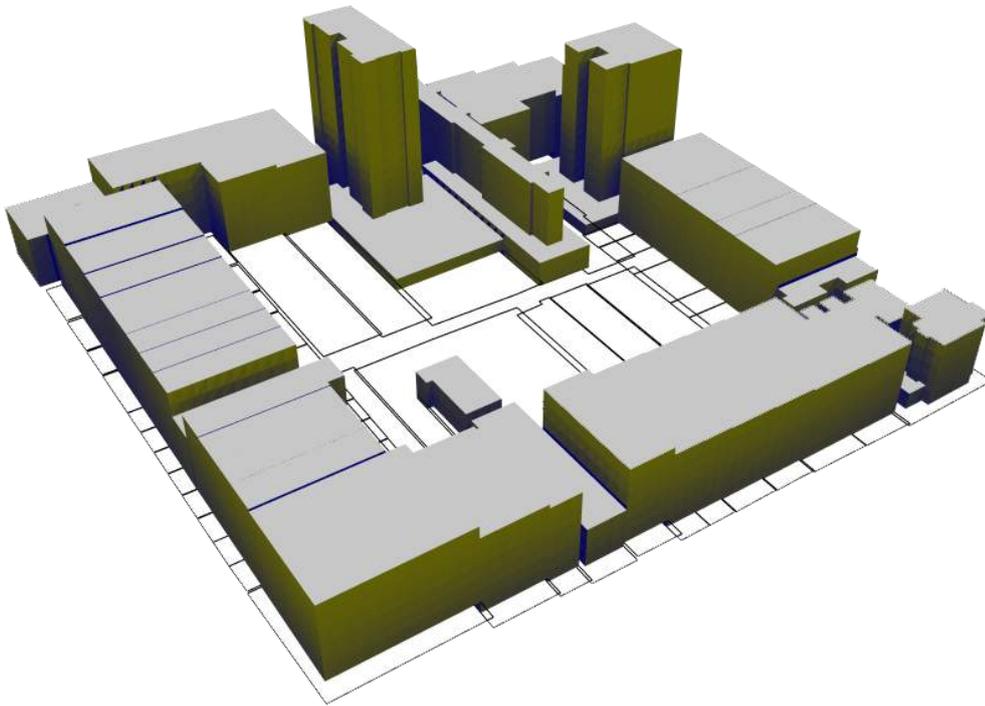


Figura 161:  
Análise de  
Iluminância |  
Cenário D.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

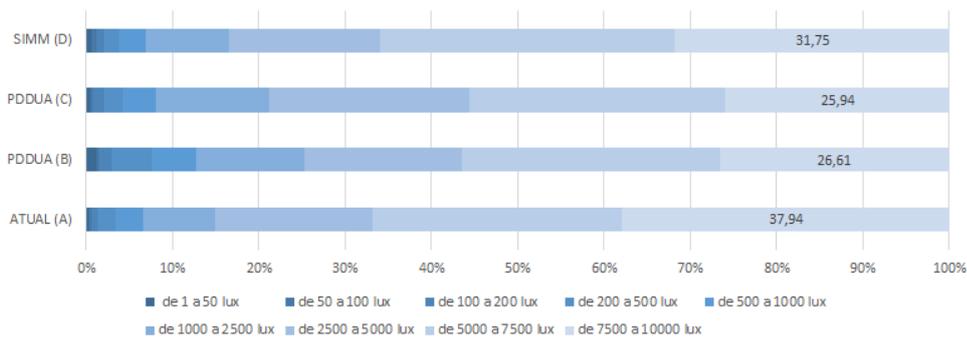


Figura 162:  
Percentual de  
fachada de  
acordo com  
intervalo de  
iluminância  
para o  
quartirão 31.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

Aplicando a mesma análise para as edificações ao longo do eixo da Rua Coronel Corte Real, temos o desempenho registrado no gráfico:

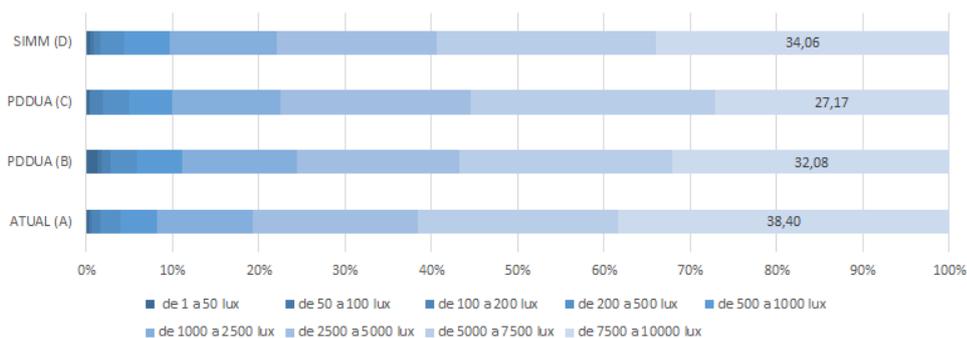


Figura 163:  
Percentual de  
fachada de  
acordo com  
intervalo de  
iluminância  
para o Eixo  
selecionado.

Fonte:  
Elaborada  
pela autora.

Assim como no caso do desempenho com relação à insolação, o desempenho lumínico do Cenário D se beneficia da consolidação do quarteirão tipo pátio. Os benefícios da tipologia adotada na construção do cenário estão presentes mesmo na análise do desempenho das edificações ao longo dos eixos. Neste segundo caso, apesar da pouca diferenciação entre os cenários, a alcance de um desempenho superior certamente seria atingido a partir do detalhamento das edificações contidas no interior do gabarito proposto.

Verificaram-se impactos adversos concentrados nos Cenários B e C, especialmente no Cenário C, associado ao tipo morfológico base torre devido a necessidade de solucionar problemas de estacionamento de veículos. Estes tipos de impacto são verificados em menor escala no Cenário Alternativo D através da consolidação do quarteirão tipo pátio com construções nas divisas em altura média. Neste Cenário, mesmo com potencial construtivo equivalente ou superior aos cenários de comparação, C e D respectivamente, o acesso tanto à insolação quanto à iluminância mantém-se proporcionalmente superior. Os testes evidenciam a possibilidade de associação entre a escolha tipo morfológica de quarteirões e lotes com o desempenho ambiental dos espaços urbanos. Dado que os primeiros pavimentos são comprometidos, na situação base-torre, com o abrigo de veículos, o estudo demonstra que uma possível alternativa compatibilizando a solução dos estacionamentos na base com os ganhos ambientais das áreas adensáveis envolveria a tolerância de contato entre empenas, configurando tipologias pátio acima da base.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na introdução e fundamentação teórica deste trabalho, caracteriza-se a inadequação do modelo atual de planejamento urbano de Porto Alegre para enfrentar as demandas funcionais e estratégicas da cidade. Como alternativa, sugere-se, no capítulo de materiais e métodos, um modelo de densidade envolvendo métricas capazes de descrever a relação entre densidade e forma. No capítulo de estudos de caso, o modelo é aplicado para quarteirões selecionados no tecido urbano de Porto Alegre.

O método proposto utiliza o Diagrama Spacemate (BERGHAUSER PONT HAUPT, 2009) através da simulação de cenários urbanos no ambiente CityZoom, envolvendo duas aplicações para o modelo:

Descritiva: para análise e comparação de diferentes ambientes urbanos e monitoramento espacial do desenvolvimento urbano;

Exploratória: otimizando a relação entre densidade urbana, forma e performance e, desta forma, orientando o processo de desenho urbano.

A aplicação descritiva é testada na caracterização do cenário de ocupação atual (Cenário A) e dos cenários possíveis a partir da renovação da ocupação aplicando os parâmetros previstos no 2º PDDUA (Cenário B e C, respectivamente, com e sem remembramento de lotes). A segunda aplicação, exploratória, é testada como ferramenta de projeto para a calibragem das densidades dentro da área de estudo e das tipologias no quarteirão (Cenário D). Na construção deste cenário alternativo (Cenário D), adota-se o conceito de envelope máximo edificável.

O conjunto de procedimentos adotados permitiu identificar as seguintes vantagens na aplicação do modelo:

- Descrição dos cenários apresentados, especialmente com relação às suas características tipo morfológicas, permitindo identificar padrões e tendências de ocupação;
- Análise estratégica do grau de consolidação dos quarteirões em diferentes níveis;
- Análise do impacto da aplicação das regras urbanísticas previstas no 2ºPDDUA, especialmente os dispositivos de controle volumétrico das edificações, na transformação de tecidos urbanos;
- Identificação de tendências de padrões tipo morfológicos para apoio na proposição de alternativas para a execução do potencial construtivo nos quarteirões e possível calibragem da distribuição de densidades dentro das Unidades de Estruturação Urbana;
- Comparação do impacto da aplicação de regras de conformidade com regras de desempenho em diferentes atributos: potencial construtivo, insolação e iluminância.

De forma geral, o conjunto de procedimentos adotados apontou para a possibilidade de aplicação do modelo tanto na descrição quanto na prescrição de métricas para a ocupação de tecidos urbanos consolidados. A partir do exposto, sugere-se os possíveis desdobramentos para futuros estudos:

- Aplicação da metodologia proposta para outras regiões em Porto Alegre e em outras cidades brasileiras a fim de testar a possibilidade de replicação do modelo;
- Associação entre as variações tipológicas identificadas no Diagrama Spacemate com o resultado dos modelos de iluminância e insolação;
- Conversão do Diagrama Spacemate em um gráfico 3D através da adição de outras variáveis de forma a permitir uma maior precisão na identificação de diferentes formas urbanas;
- Utilização do CityZoom como ferramenta auxiliar para calibrar os parâmetros geométricos do Diagrama Spacemate, aumentando seu potencial para identificar diferentes tipos morfológicos;

- Utilização do modelo na calibragem da proporção entre áreas privadas abertas e fechadas através de um indicador relacionado a qualidade de espaços abertos, associado a modelos de ventilação e visibilidade;
- Utilização do modelo em estratégias de monitoramento da qualificação ambiental, vinculando-o a indicadores utilizados em cálculos de custo de serviços ecossistêmicos.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIOLY, Claudio. **Densidade urbana**: um instrumento de planejamento e gestão urbana. Rio de Janeiro: Mauad, 1998

AMOROSO, Nadia. **The exposed City: Mapping the Urban Invisibles**. New York : Routledge, 2010.

ANZOLCH, Roni. **Códigos da Forma Urbana**: modelos de forma construída. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - PROPAR, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 71. 1995.

ANZOLCH, Roni. **Códigos da forma urbana**: modelos de forma construída. Porto Alegre: dissertações e teses III. Porto Alegre: Unidade Editorial, 2000. p. 47-50.

BATTY, Michael. Model Cities. **The Town Planning Review**, vol. 78, p. 125–151, no. 2, 2007.

BATTY, Michael. Visualizing the City: Communicating Urban Design to Planners and Decision-Makers. **Planning Support Systems: Integrating Geographic Information Systems Models and Visualization Tools**. New Jersey : Esri Press, 2001. - p. 500.

BERGHAUSER PONT, Meta e HAUPT, Per. 2009. **Space, Density and Urban Form**. Rotterdam, p. 306. 2009.

BERGHAUSER PONT, Meta e HAUPT, Per. **SPACEMATRIX: Space, Density and Urban Form**. Rotterdam : NAI Publishers, 2010.

BORSBOOM, J. **Linking land use modelling and 3D visualisation: A mission impossible.** s.l. : DDSS, 2006.

BOSELDMANN, Peter. **Representation of places: reality and realism in city design.** Berkeley: University of California Press, 1997. p. 200.

COX, D e JAMES, K. **City of Davenport Uses: 3D Visualization to Prepare for Flooding.** Environmental OBSERVER. 2009.

DUREN, N. e COMPEÁN R. Growing resources for growing cities: Density and the cost of municipal public services in Latin America. **Urban Studies Journal**, 2015. p.1-26.

EVANS, S e SMITH, A.H. 2001. Information Rich 3D Computer Modeling of Urban Environments. **Centre for Spatial Analysis: Working Paper Series.** Agosto de 2001.

FERRARI, CÉLSON **Curso de planejamento municipal integrado - URBANISMO.** São Paulo, Livraria Pioneira Editora, 2ª edição, 1979, 631 p.

FREDERICK, Matthew. **101 Things I Learned in Architecture School.** Cambridge : MIT Press, 2007. p. 200.

GEHL, Jan. **Cidades para pessoas.** São Paulo, Perspectiva, 2013.

GRAZZIOTIN, Pablo Colossi. **Técnicas de Incorporação de Controle de Acesso à Luz Solar em Modelos Computacionais e Edificações.** Porto Alegre : s.n., 2003.

GRAZZIOTIN, Pablo Colossi. Visualization Techniques in a Building Potential Simulator Using Sunlight Access Control. In: **SIACG Ibero-American Symposium on Computer Graphics.** 2002.

GUIMARAENS, Maria Etelvina Bergamaschi. **Planejamento Urbano, participação e legitimidade: a densidade urbana no Plano Diretor de**

Desenvolvimento Urbano Ambiental. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional). Faculdade de Arquitetura UFRGS, Porto Alegre, 2008.

HAUGHTON, G. e HUNTER, C. **Sustainable Cities**. Jessica Kingsley Publishers/Regional Studies Association, London, 1994.

JACOBS, J. **The death and life of great American cities**. New York: Random House, 1961.

KAGA, A e SUGAWARA, S. Research on the Visualization for Analyzing City Changes, **eCAADe**. 2008, pp. 939-944.

KASPRISIN, Ron. **Urban Design: The Composition of Complexity**. New York : Routledge, 2011. p. 241.

KENN, Peter G. W. **Guia Gerencial para a tecnologia da informação: Conceitos essenciais e terminologia para empresas e gerentes**. Rio de Janeiro : Campus, 1996.

LAWSON, Bryan. **How designers think - The design process demystified**. 3. Oxford : Architectural Press, 1997. p. 318. Vol. 1.

LEHNERER, Alex. **Grand Urban Rules**. Rotterdam : 010 Publishers, 2009.

LITMAN, T. **Land Use Impacts on Transport**. 2019. p 1-88

LONGLEY, P. A. et al. **Geographic Information Systems and Science**. s.l. : Wiley, 2001.

MARASCHIN, Marilu. 1998. **Densidade e Ocupação do Solo**. [A. do livro] Porto Alegre. Prefeitura Municipal. Secretaria do Planejamento Municipal. *A necessária releitura da cidade : 2. plano diretor de desenvolvimento urbano ambiental-PDDUA*. Porto Alegre : s.n., 1998, p. 82.

MARTIN, L. e MARCH, L., eds. **Urban Space and structures**. Cambridge University Press, 1972.

MASCARÓ, Juan (1986) A forma urbana e seus custos. In: TURKIENCZ, B. & MALTA, M. (eds.) **Desenho Urbano: Anais do II SEDUR – Seminário sobre Desenho Urbano no Brasil**. Brasília: UnB, p. 61- 68.

MEEDA, Bally, PARKYN, Neil e WALTON, David Stuart. **Graphics for Urban Design**. Plymouth : Thomas Telford Ltd, 2006. p. 128.

MIT, **Density Atlas**. Disponível em: < <http://densityatlas.org/>>. Acesso em 18 de outubro de 2019.

PHAM, T. T. et al. Methodology for Integrating and Analyzing Environmental. In: **10th AGILE International Conference on Geographic Information Science**. 2007.

PORTO ALEGRE. Lei Complementar 434 (compilada até 28/11/2018). **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre**. 1999.

RIVOLIN, Umberto Janin. Conforming and Performing Planning Systems in Europe: An Unbearable Cohabitation [Artigo] // **Planning, Practice & Research**. - 2008. - pp. 167-186.

ROGERS, R. e GUMUCHDJAN, P. **Cidades para um pequeno planeta**. Barcelona: Gustavo Gili. 2001.

ROUMPANI, F. Developing classical and contemporary models in ESRI´s City Engine . **UCL Working Papers Series**. Maio de 2013.

SALIM, F. D., MULDER, H. e JAWORSKI, P. Demonstration of an Open Platform for Tangible and Social Interactions with Responsive Models. In: **ACADIA**. 2010, pp. 227-233.

SCALCO, V. A. **Método Para a Avaliação dos Impactos de Edificações Sobre a Iluminação Natural e Insolação em Vizinhanças Urbanas**. Florianópolis, 2010. 395 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

SCHMITT, Gerhard et al. Big Data-Informed Urban Design. **Future Cities Laboratory**. ETH Zürich / Singapore - ETH Centre : Lars Müller Publishers, 2016.

SHEPHARD, N. 2010. Using 3D volumetric analysis techniques in ArcGIS 10. In: **ArcUser**. 2010.

SINDUSCON/RS. **Relatório periódico realizado pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil do Rio Grande do Sul (SINDUSCON/RS)**. Porto Alegre, 2018.

TURKIENICZ, Benamy et al. **CityZoom: Software Introduction Tutorial**. Porto Alegre, 2018.

TURKIENICZ, Benamy, et al. **Indicações Estratégicas para o Adensamento Urbano de Porto Alegre**. Porto Alegre : Trabalho de Pesquisa UFRGS-PMPA-SINDUSCON, 1994.

TURKIENICZ, Benamy, GONÇALVES, Barbara e GRAZZIOTIN, Pablo Colossi. CityZoom: A Visualization Tool for the Assessment of Planning Regulations. **International Journal of Architectural Computing**. Janeiro de 2008, pp. 79-95.

U.S. Department of Transportation, Office of Highway Policy Information. **Highway Statistics Series**. Washington, 2012.

UNWIN, R. **Town Planning in Practice**. London, 1909.

Urban Task Force. **Towards an Urban Renaissance:** final report of The Urban Task Force. London: Urban Task Force. 1999.

VAN NES, A, BERGHAUSER-PONT, M., and MASHHOODI, B. Combination of Space Syntax with Spacematrix and the Mixed Use Index. The Rotterdam South test case. **Proceedings Space Syntax. 8th International Symposium,** Pontificia Universidad Catolica de Chile, Santiago, Chile. 2012

WANG, G, BOSCH, F e KUFFER, M. **Modelling Urban Traffic Air Pollution Dispersion.** 2008.

WANG, Thomas C. **Plan and Section Drawing.** 2. New York : John Willey & Sons, 1996. p. 300. Vol. 1.

WIRSCH, Anton. **Analysis of a Top-Down Bottom-Up Data Analysis Framework and Software Architecture Design.** Composite Information Systems Laboratory (CISL), Massachusetts Institute of Technology. Cambridge: MIT, 2014.

XIA, Z e QING, Z. Applications of 3D City Models Based Spatial Analysis to Urban Design. **ISPRS.** 2004.