UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

Dissertação

A C E S S O S O L A R E M E S P A Ç O S L I V R E S P Ú B L I C O S :
E S T U D O P A R A P R A Ç A S E M P E L O T A S / R S

B r e n d a A l m e i d a T e j a d a

Pelotas, 2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

Dissertação

ACESSO SOLAR EM ESPAÇOS LIVRES PÚBLICOS: ESTUDO PARA PRAÇAS EM PELOTAS/RS

Brenda Almeida Tejada

Pelotas, 2019

Brenda Almeida Tejada

ACESSO SOLAR EM ESPAÇOS LIVRES PÚBLICOS: ESTUDO PARA PRAÇAS EM PELOTAS/RS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Profa. Dra. Celina Maria Britto Correa

Co-orientadora: Profa. Dra. Fernanda Moscarelli

PELOTAS, 2019

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

T253a Tejada, Brenda Almeida

Acesso solar em espaços livres públicos : estudo para praças em Pelotas/RS / Brenda Almeida Tejada ; Celina Maria Britto Correa, orientadora ; Fernanda Moscarelli, coorientador. — Pelotas, 2019.

106 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, 2019.

1. Acesso solar. 2. Espaços livres. 3. Envelope solar. 4. Morfologia urbana. I. Correa, Celina Maria Britto, orient. II. Moscarelli, Fernanda, coorient. III. Título.

CDD : 711.4

Elaborada por Leda Cristina Peres Lopes CRB: 10/2064

Brenda Almeida Tejada

ACESSO SOLAR EM ESPAÇOS LIVRES PÚBLICOS: ESTUDO PARA PRAÇAS EM PELOTAS/RS

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 31/10/2019

Banca examinadora:

Profa. Dra. Celina Maria Britto Correa, (Orientadora).

Doutora em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Politécnica de Madrid, UPM, Espanha.

Prof. Dr. Eduardo Grala da Cunha.

Doutor em Arquitetura pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil.

Profa. Dra. Lisandra Fachinello Krebs.

Doutora em Arquitetura pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil.

Prof. Dr. Eduardo Rocha.

Doutor em Arquitetura pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que em muitos momentos foi paz, refúgio e força para seguir em frente.

A meus pais Eron e Dâmla pela educação e valores que me deram, por todo o amor e apoio, e por viabilizarem a realização deste e de tantos outros sonhos.

A meus irmãos Lucas e Larissa, pela amizade, companheirismo e apoio incondicional.

A meu amor Charles, por ser meu grande companheiro durante essa trajetória, sendo alegria, suporte, amparo, incentivo e força.

A minha cunhada Thaís por ser inspiração na decisão do mestrado e por todo estímulo e dedicação em me auxiliar em todos os momentos.

A meus sogros Paulo e Jussara, a meu concunhado Vinicius e meus demais familiares, pela torcida e encorajamento para seguir em frente.

A minha avó Ilda, pelo carinho, preocupação e apoio.

A minha orientadora Celina Correa, por acreditar no meu trabalho, pelo apoio, auxilio e pela grande contribuição para a realização da dissertação.

A minha co-orientadora Fernanda Moscarelli pela grande ajuda, apoio e pelas contribuições que foram fundamentais para o prosseguimento do trabalho.

Ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas pelo apoio ao desenvolvimento do trabalho.

Aos professores e colegas da pós-graduação pelos ensinamentos, conversas e contribuições.

Aos bons e verdadeiros amigos pela força, apoio e incentivo durante o percurso até aqui.

A todos o meu mais sincero e carinhoso muito obrigada!

RESUMO

TEJADA, Brenda Almeida. **Acesso Solar em Espaços Livres Públicos: Estudo para Praças em Pelotas/RS.** 2019. 106 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

Um dos fatores de extrema importância para a vida ao ar livre é a exposição ao sol, principalmente no inverno em locais que possuem climas com invernos frios. O sol é muito importante para o bem-estar da população, principalmente para a sua permanência em espaços livres, como as praças, no inverno. O uso dos espaços livres proporciona vitalidade urbana, fator a ser considerado nos projetos de espaços públicos. Para que se garanta o acesso solar no inverno é necessário se levar em consideração a morfologia urbana, que contempla tanto o espaço edificado como os espaços livres. Sendo assim, esta pesquisa tem como objetivo analisar as condições de insolação nos espaços livres públicos a partir do estudo da forma edificada em sua fronteira como consequência das regras urbanas de conformações volumétricas, para modelos genéricos de praças em áreas urbanas de caráter residencial, da cidade de Pelotas. Com o intuito de apontar estratégias para garantir o acesso solar, como suporte à qualidade ambiental. A metodologia empregada nessa dissertação combinou ferramentas de análise de insolação e critérios de definição do objeto de estudo. Foram definidos modelos de estudo, baseados nas características mais recorrentes das praças das zonas residenciais da cidade, e as análises de insolação se deram através do método do Envelope Solar invertido, gerados por simulação, no software *Rhinoceros* com o uso dos aplicativos *Grasshopper* e *DIVA.* Com o software *Sketch UP* foram medidas as máximas alturas possíveis de serem construídas nas fronteiras das praças, sem gerar sombreamento nas mesmas. Procedeu-se uma análise comparativa entre os índices de altura permitidos pelo Plano Diretor de Pelotas e os resultados encontrados, a fim de avaliar a compatibilidade entre eles em relação ao acesso solar. Os resultados obtidos nas análises apontaram que a orientação solar e o gabarito das vias no entorno das praças são os fatores que exercem maior influência nas máximas alturas que podem ser construídas nas suas fronteiras sem gerar sombreamento e que a forma das praças e a inclusão do recuo de ajardinamento não tem impacto considerável sobre o índice de altura. O estudo concluiu que a morfologia da fronteira das praças pode sim impedir o acesso solar no inverno, principalmente no norte, sendo necessária uma adequação das regras urbanas de conformações volumétricas em Pelotas/RS, principalmente nas zonas residenciais, priorizando e assegurando a radiação solar nas praças no inverno.

Palavras-chave: 1 Acesso Solar; 2 Espaços Livres; 3 Envelope Solar; 4 Morfologia Urbana.

ABSTRACT

TEJADA, Brenda Almeida. **Solar Access in Public Open Spaces: Study for Squares in Pelotas/RS.** 2019. 106 f. Dissertation (Master in Architecture and Urbanism) – Postgraduare Program in Architecture and Urbanism. Federal Universiversity of Pelotas, Pelotas, 2019.

One of the most important factors for outdoor living is sun exposure, especially in winter and in places with cold winters The sun is very important for the well-being of the population, especially for their stay in open spaces, such as squares, in winter. The use of free spaces provides urban vitality, a factor to be considered in public space projects. To ensure solar access in winter it is necessary to take into account the urban morphology, which includes both the built space and the open spaces. Therefore, this research aims to analyze the conditions of insolation in public open spaces from the study of the built form on its border as a consequence of urban rules of volumetric conformations, for generic squares models in urban residential areas of the city of Pelotas, at 31º south latitude, in order to point out strategies to guarantee solar access, in support of environmental quality. The methodology employed in this dissertation combined insolation analysis tools and the definition criteria of the object of study. Study models were defined, based on the most recurring characteristics of the squares of the residential areas of the city, and the insolation analyzes were performed through the inverted Solar Envelope method, generated by simulation, in Rhinoceros software using Grasshopper and DIVA applications. With Sketch UP software, the maximum possible heights to be built at the borders of the squares were measured, without shading them. A comparative analysis was performed between the height indices allowed by the Pelotas Master Plan and the results found in order to evaluate their compatibility with solar access. The results obtained from the analysis indicated that the solar orientation and the jig of the roads around the squares are the factors that exert the greatest influence on the maximum heights that can be built on their borders without generating shading and that the form of the squares and the inclusion of the garden retreat has no considerable impact on the height index. The study concluded that the morphology of the border of the squares may prevent solar access in winter, requiring an adaptation of urban rules of volumetric conformation in Pelotas / RS, especially in residential areas, prioritizing and ensuring solar radiation in the squares in winter.

Key-words: 1 Solar Access; 2 Open Spaces; 3 Solar Envelope; 4 Urban Morphology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização e Clima de Pelotas/RS 14

Figura 2- Uso das praças no inverno, em Pelotas/RS 15

Figura 3- O entorno, a base e a superfície fronteira 17

Figura 4- Envelope Solar partindo do lote a ser protegido 39

Figura 5- Envelope Solar gerado a partir do método desenvolvido por Knowles e Berry (1980) 40

Figura 6- Tela do software Ecotect Analysis 41

Figura 7- Envelopes solares gerados através do software CityZoom 41

Figura 8- Ferramentas solares no ambiente do Grasshopper e o componente Solar Fan gerado no software DIVA 42

Figura 9- Carta Solar para a latitude 32S (Pelotas) 46

Figura 10- Diagrama de Radiações Solares em Planos Verticais e Horizontais em kcal/m²dia 47

Figura 11- Caracterização das etapas do método 49

Figura 12- Mapa Temático das Áreas Especiais de Interesse do Ambiente Natural do município de Pelotas/RS 50

Figura 13- Levantamento e localização das praças do município de Pelotas/RS 51

Figura 14- Modelos de Estudo 61

Figura 15- Parâmetros de entrada para a geração do Envelope Solar Invertido 62

Figura 16- Orientação Solar para as Simulações 63

Figura 17- Denominação dos modelos para simulação 63

Figura 18- Envelope resultante para o modelo 1A com 4h de sol 65

Figura 19- Exemplificação do desenho de vias de diferentes gabaritos no entorno dos envelopes 66

Figura 20- Exemplificação do desenho de vias de diferentes gabaritos no entorno dos envelopes com recuos 66

Figura 21- Exemplificação da medição das alturas máximas permitidas pelo envelope sem e com recuo respectivamente 67

Figura 22- Esquemas gráficos da configuração morfológica resultante para o modelo 1A 70

Figura 23- Esquemas gráficos da configuração morfológica resultante para o modelo 1B 72

Figura 24- Esquemas gráficos da configuração morfológica resultante para o modelo 2A 74

Figura 25- Esquemas gráficos da configuração morfológica resultante para o modelo 2B 76

Figura 26- Esquemas gráficos da configuração morfológica resultante para o modelo 2C 78

Figura 26- Esquemas gráficos da configuração morfológica resultante para o modelo 2D 80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Gabaritos das vias de acordo com o Plano Diretor Municipal 30

Tabela 2- Recuos de acordo com o Plano Diretor Municipal 31

Tabela 3- Levantamento e análises das praças do município de Pelotas/RS 51

Tabela 4- Classificação por área- praças em Pelotas/RS 59

Tabela 5- Praças de Pelotas/RS que atendem aos critérios de escolha definidos 60

Tabela 6- Máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento e comparação com as alturas do Plano Diretor de Pelotas- Modelo 1A 69

Tabela 7- Máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento e comparação com as alturas do Plano Diretor de Pelotas- Modelo 1B 71

Tabela 8- Máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento e comparação com as alturas do Plano Diretor de Pelotas- Modelo 2A 73

Tabela 9- Máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento e comparação com as alturas do Plano Diretor de Pelotas- Modelo 2B 75

Tabela 10- Máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento e comparação com as alturas do Plano Diretor de Pelotas- Modelo 2C 77

Tabela 11- Máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento e comparação com as alturas do Plano Diretor de Pelotas- Modelo 2D 78

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Forma das praças em Pelotas/RS 58

Gráfico 2- Inserção no tecido urbano das praças em Pelotas/RS 58

Gráfico 3- Classificação por área, das praças de forma retangular e triangular em Pelotas/RS 59

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 14

1.1. Objetivo Geral 18
1.2. Objetivos Específicos 18
1.3. Estrutura do Trabalho 19

2. IMPACTO DA FORMA URBANA NO USO E APROPRIAÇÃO DO ESPAÇO 20

2.1. Morfologia Urbana 20
2.2. Sistema de Espaços Livres 21
2.2.1. A Praça Brasileira 22
2.2.2. Praças como Espaço de Práticas Sociais 24
2.3. Impacto da Forma Urbana na Vitalidade Urbana 25
2.4. Forma Urbana de Pelotas 27
2.4.1. Plano Diretor Municipal de Pelotas 28
2.4.2. Levantamento dos Índices Urbanísticos propostos pelo Plano Diretor Municipal de Pelotas 29

3. ESTUDOS DA INSOLAÇÃO 31

3.1. Relação da Iluminação Natural com a Saúde dos Indivíduos 33
3.2. Impacto da Forma Urbana no Clima 35
3.3. Envelope Solar 38
3.3.1. Estudos com o Método do Envelope Solar 43
3.4. Condições Climáticas de Pelotas 45

4. MÉTODO 48

4.1. Critérios de definição das Praças de Estudo 49
4.1.1. Mapeamento e Análise Morfológica das Praças de Pelotas/RS 49
4.1.2. Definição das Áreas de Estudo para a Criação dos Modelos 60

4.1.3. Definição dos Modelos de Estudo 61
4.2. Simulação dos Envelopes Solares Invertidos no *Rhinoceros 3D* com uso dos aplicativos *Grasshopper* e *DIVA* 61
4.2.1. Curva (C) 62
4.2.2. Latitude (L) 64
4.2.3. Definição do número de horas de insolação e acesso solar (H) 64
4.2.4. First Frost Day (F) 64
4.2.5. Distância (D) 65
4.2.6. Envelopes Resultantes das Simulações 65
4.3. Delimitação das Alturas que Garantem o Acesso Solar 66
4.4. Compatibilização dos índices de altura do Plano Diretor com os encontrados nas Análises das Simulações 67

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES 68

5.1. Modelo 1A 68
5.2. Modelo 1B 71
5.3. Modelo 2A 73
5.4. Modelos 2B 75
5.5. Modelo 2C 76
5.6. Modelo 2D 78
5.7. Síntese dos Resultados 80

6. CONCLUSÕES 83

6.1. Limitações do Trabalho 86
6.2. Sugestões para Trabalhos Futuros 86

7. REFERÊNCIAS 88

8. APÊNDICES 95

1. INTRODUÇÃO

Um dos fatores de extrema importância para a vida ao ar livre é a exposição ao sol, principalmente no inverno e em locais que possuem climas com invernos frios.

Pelotas está localizada aos 31º de latitude sul e possui clima subtropical úmido (Fig. 1), ou seja, com estações bem definidas, verões quentes e invernos frios. Durante o inverno o sol é muito importante para o bem estar da população, principalmente para a sua permanência em espaços livres, como as praças; já no verão é importante o sombreamento em função das temperaturas elevadas.

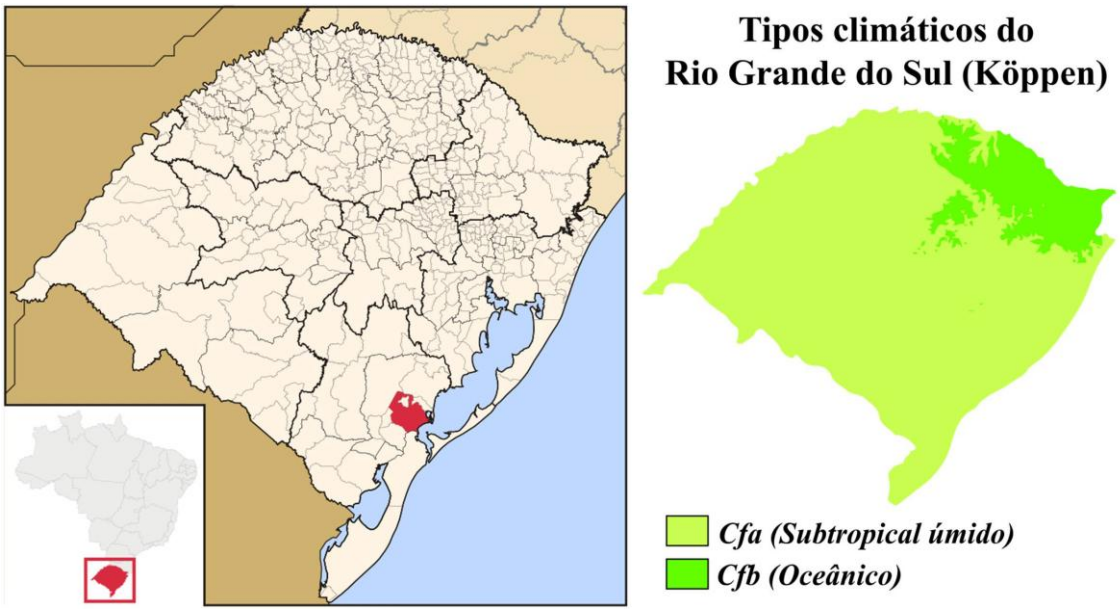


Figura 1- Localização e Clima de Pelotas/RS.
Fonte: Autora, 2018, montagem com imagens da internet.

No inverno, em cidades onde faz frio, como Pelotas, as pessoas, nos espaços abertos, buscam os espaços ensolarados, para conversar, tomar chimarrão, aproveitar a natureza e se aquecer. Nas praças, é comum observar locais ensolarados com mais público do que espaços sombreados, como pode ser visto na Fig. 2.

Figura 2- Uso das praças no inverno, em Pelotas/RS.
Fonte: Registro da autora, 2019.

Segundo González (2004) a única fonte natural de calor de um espaço exterior é a radiação solar. Por esse motivo, os espaços exteriores devem estar desenhados de forma que recebam o maior número de horas de sol nos períodos frios. Devem estar abertos para a orientação do sol do meio dia, evitando obstruções que sombreiem o espaço durante o inverno.

Para que se garanta o acesso solar no inverno é necessário levar em consideração o conjunto relativo à morfologia urbana, que contempla tanto o espaço edificado como os espaços livres em suas diversas tipologias.

Nesse contexto, a morfologia urbana é um fator determinante para a sustentabilidade da cidade, definindo a qualidade espacial e o conforto bioclimático dos indivíduos. As características geométricas e materiais dos espaços, as relações entre cheios e vazios, a presença ou não da vegetação influenciam o desempenho ambiental dos espaços públicos, por interferirem na exposição à radiação solar e aos ventos (ROMERO e SILVEIRA, 2005).

Diversos autores (DUFFY; CZEISLER, 2009; TREGENZA; WILSON,2011), apontaram os benefícios da radiação solar para os indivíduos. A exposição à luz solar ativa uma série de funções fisiológicas e biológicas no corpo humano, entre elas, a atividade cerebral, endócrina e cardíaca. Além disso, a luz proporciona o

efeito psicológico que, por meio das variações espaciais e temporais da luz, contribuem para a promoção da saúde e bem-estar dos indivíduos.

Os espaços livres são os ambientes não edificados da cidade: as ruas, as avenidas, as praças, os parques, os quintais, os jardins, as matas, os rios, os mangues, as praias urbanas, ou os simples vazios urbanos. (MAGNOLI, 1982).

Para Robba e Macedo (2010) a praça é um espaço livre urbano, destinado ao lazer e ao convívio da população, acessível aos cidadãos e livres de veículos.

A qualidade ambiental dos espaços livres é muito importante, pois pode incentivar o seu uso pela população, fator determinante para a vitalidade urbana, que é essencial para a cidade e que deve ser um objetivo a ser alcançado no projeto desses espaços. Saboya (2016) define vitalidade urbana como algo que se refere à vida nos espaços públicos abertos. Mais especificamente, diz que um lugar possui vitalidade quando há pessoas usando seus espaços.

Observa-se então que os espaços livres públicos, principalmente as praças, têm uma função social, simbólica e ambiental na cidade, e deveriam promover qualidade de vida para a população.

Romero (2001) propõe categorias para caracterizar os espaços públicos, entre eles as praças, em três partes que são o entorno, a base e a superfície fronteira. O entorno compreende o espaço urbano mais imediato do espaço público em questão; a base corresponde ao espaço sobre o qual se assenta o espaço público; a superfície fronteira corresponde ao espaço que forma o limite ou marco do espaço arquitetônico que interessa (Fig. 3).

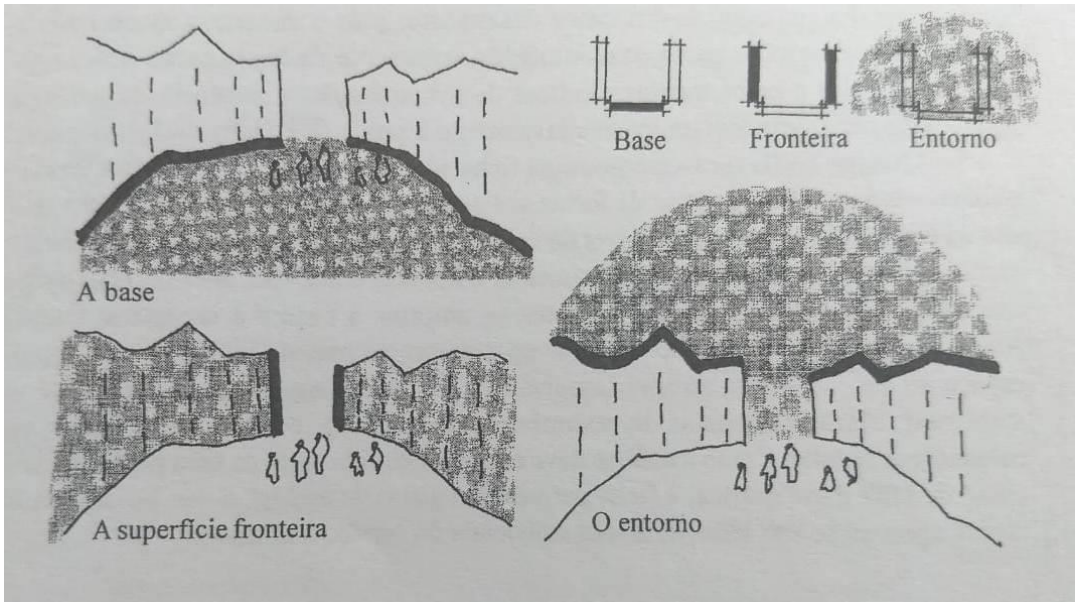


Figura 3- O entorno, a base e a superfície fronteira.
Fonte: Romero, 2001.

Para garantir o acesso solar nas praças, além da localização e tipo de vegetação adequada, é importante que a fronteira não seja um obstáculo à radiação solar, projetando sombras sobre elas. Para isso a morfologia urbana da fronteira desses espaços deve ser pensada, analisada e delimitada para garantir o acesso solar.

As características que influenciam as condições morfológicas das fronteiras das praças dizem respeito ao gabarito das ruas, recuos e alturas máximas para construção permitidas, que são reguladas pelas Prefeituras Municipais através dos Planos Diretores das cidades.

Diante do exposto se mostra importante e se justifica a análise da morfologia mais adequada ao espaço de fronteira das praças de Pelotas, buscando permitir insolação no inverno, já que a localização geográfica de Pelotas, ao estar localizada aos 31º de latitude sul proporciona invernos bastante frios, o que impõe a necessidade de acesso solar nas praças, para permitir seu uso nessa estação.

O presente trabalho trata da paisagem, que é considerada pelo QUAPA (2018) um grande sistema que engloba o sistema de espaços livres, e tem como meta a avaliação de espaços livres públicos, na escala da quadra. O estudo proposto analisa modelos genéricos de praças, através da dinâmica solar e sua relação com a configuração morfológica da sua fronteira, que é definida pelos índices urbanísticos vigentes, sob a ótica da garantia do acesso solar a esses espaços no inverno.

Partindo da premissa que os espaços livres públicos deveriam promover acesso solar no inverno, e que esse fator é de fundamental importância para seu uso, para a vitalidade urbana e para o bem-estar físico e psicológico dos usuários, surgem duas questões a serem respondidas por essa pesquisa:

i) qual a influência da morfologia urbana no acesso solar às praças em zonas residenciais de Pelotas?

ii) quais as restrições à forma urbana da fronteira das praças, para que permitam o acesso solar aos seus usuários no período de inverno?

1.1. Objetivo Geral

Esse estudo tem como objetivo geral analisar as condições de insolação nos espaços livres públicos a partir do estudo da forma edificada em sua fronteira como consequência das regras urbanas de conformações volumétricas, para modelos genéricos de praças em áreas urbanas de caráter residencial, da cidade de Pelotas.

1.2. Objetivos Específicos

- Definição de modelos genéricos de praças através do estudo das praças urbanas de Pelotas;

- analisar a insolação em diferentes modelos de praças genéricas voltadas para diferentes orientações solares;

- verificar a adequação dos índices urbanísticos propostos no plano diretor municipal em relação às condições de insolação nos espaços livres;

- definir regras de conformações volumétricas específicas para zonas residenciais de Pelotas/RS que priorizem a radiação solar nos espaços livres públicos no período de inverno;

- avaliar a viabilidade do envelope solar invertido como instrumento de determinação de índices urbanísticos que considerem a possibilidade de insolação em espaços livres.

1.3. Estrutura do trabalho

O presente trabalho de dissertação é apresentado em seis capítulos:

Capítulo 1 - Introdução: apresenta os objetivos, o tema da pesquisa, sua relevância e a importância do acesso solar aos espaços livres em locais com invernos frios.

Capítulos 2 e 3 - Revisão de Literatura: apresentam os principais conceitos relativos ao tema e trabalhos acadêmicos referentes à área em questão e ao método escolhido.

Capítulo 4 - Método: indica as ferramentas empregadas neste trabalho, bem como os procedimentos metodológicos aplicados.

Capítulo 5 – Resultados e Discussões: são apresentados e discutidos os resultados da pesquisa, obtidos com a aplicação dos procedimentos metodológicos propostos.

Capítulo 6 - Conclusões: apresenta o fechamento do trabalho, identificando as condições de insolação aos espaços livres públicos com o intuito de potencializar o seu uso durante o período de inverno. Igualmente, são apresentadas considerações a respeito da potencialidade do método Envelope Solar invertido para a determinação de índices urbanísticos que assegurem o acesso solar nas praças.

2. IMPACTO DA FORMA URBANA NO USO E APROPRIAÇÂO DO ESPAÇO

2.1. Morfologia Urbana

Morfologia é um termo utilizado para intitular o estudo da estrutura exterior e da configuração de um objeto, é uma ciência que estuda as formas e as interliga com os fenômenos que lhes originaram. A morfologia urbana estuda, especialmente, os aspectos exteriores do meio urbano e suas relações mútuas, explicando e definindo a paisagem urbana e sua estrutura (LAMAS, 2009).

Para o mesmo autor, morfologia significa ciência que estuda a forma e, no contexto das cidades, pode ser definida como o estudo da forma urbana ou o estudo dos aspectos exteriores do meio urbano, por meio do qual se coloca em evidência a sua estrutura construída. Tal estudo constitui um instrumento poderoso no entendimento e no planejamento da cidade e, interage com uma ampla gama de disciplinas. Ainda segundo Lamas (2009), um estudo de morfologia urbana trata da divisão, em partes, do meio urbano (elementos morfológicos) e da articulação dos elementos entre si e com o conjunto que os definem, que são os lugares que constituem o espaço urbano.

Krafta (2014) define que um dos pontos que contribuem para tornar o estudo da forma urbana interessante e revelador é o fato de que, embora muito diferentes, as cidades são feitas a partir de algumas poucas e mesmas categorias de elementos. Objetos tridimensionais e porções de espaços abertos públicos e privados constituem o suporte para a criação de edificações, lugares, tecidos urbanos extensos, cidades e metrópoles e, com eles, símbolos, significados, tradições.

O chamado tecido urbano é o resultado da composição de tipos diferentes de espaços públicos, privados e edificações e, assim, um processo espaço - temporal, o qual pode eventualmente começar com uma forma urbana bastante unitária para, no decorrer do tempo, desdobrar-se em uma interminável diversidade. A cada momento em que uma nova adição é feita ao tecido, todos os elementos preexistentes são, de certa forma, atualizados e, independentemente da origem ou idade de cada um, contam igualmente para essa composição (KRAFTA, 2014).

O conjunto de elementos morfológicos que compreende a forma urbana é composto pelos espaços livres, podendo ser estes públicos ou privados, e pelas edificações. Cada um destes elementos possui uma infinidade de categorias e tipos.

Tratando-se dos espaços livres, foco deste trabalho, segundo Magnoli (1982) dizem respeito os ambientes não edificados da cidade: as ruas, as avenidas, as praças, os parques, os quintais, os jardins, as matas, os rios, os mangues, as praias urbanas, ou os simples vazios urbanos.

2.2. Sistema de Espaços Livres

Os espaços livres são parte de um grande grupo paisagístico urbano, podendo ser subdivido em diversas categorias dependendo da sua função e do seu uso, sendo então um termo bastante abrangente, que engloba os outros conceitos similares como: espaços abertos, áreas livres, áreas verdes, sistemas de áreas de lazer, entre outros (NUCCI, 2012). Os espaços livres são um dos principais caracterizadores da paisagem urbana e estruturadores da forma urbana (AMORIM, 2015).

O conceito de espaço livre é aplicado se sobrepondo, contendo e ampliando o conceito usual de áreas verdes, termo esse que tem como base a necessidade de espaços livres providos de vegetação. Para Queiroga et al. (2015), o termo áreas verdes é reducionista e desconsidera as características fundamentais do espaço urbano como a diversidade e a complexidade das diversas formas de apreensão e apropriação social. Para esses autores, o conceito de espaços livres não desconsidera o papel da vegetação nas cidades brasileiras, como elemento que facilita a drenagem urbana, cria microclimas mais agradáveis, contribuindo para a manutenção da diversidade vegetal e diversidade animal e ainda para o embelezamento urbano, mas não deixa de considerar a importância dos espaços não vegetados para inúmeras práticas de relevância cultural.

De acordo com Amorim (2015), apesar dos crescentes avanços nas discussões a respeito dos espaços livres, muitos autores, planos diretores, planos de uso e ocupação, ainda não compreendem o termo. Segundo a autora, a implantação dos espaços livres públicos depende de uma gestão integrada e adequada dos recursos, com uma efetiva fiscalização, implicando no desenvolvimento de políticas públicas permanentes que possibilitem as intervenções e necessidades dos espaços livres.

Conforme Magnoli (1982), a localização, a acessibilidade, e a distribuição dos espaços livres formam um complexo sistema de conexões com múltiplos papéis urbanos como atividades do ócio, circulação urbana, conforto, conservação e requalificação ambiental, drenagem urbana, imaginário urbano, memória urbana,

lazer e recreação, entre outros. Todas essas funções exercidas no ambiente urbano pelos espaços livres, assim como a localização, acessibilidade, distribuição, tipos de uso e configuração espacial estão organizadas de maneira sistêmica na cidade formando o Sistema de Espaços Livres.

O processo de urbanização das cidades é uma soma e eventualmente até uma sobreposição de padrões morfológicos; esses traçados geram paisagens diferentes com tipos diferentes de espaços livres, incorporando ao sistema um rico mosaico espacial, formado por diferentes porcentagens de espaços livres intra lotes característicos de traçados diferentes, por diferentes tipos de praças, por áreas de preservação, parques, ruas e avenidas. Áreas essas que apresentam diversos conflitos e possuem um intenso potencial de transformação (AMORIM, 2015).

O espaço urbano pode ser analisado por seus elementos morfológicos e pela maneira como esses se organizam e se estruturam no território. Segundo Romero (2001) o espaço público deve ser concebido como um objeto arquitetônico, como espaço ao qual se confere uma forma definida, construída e pensada com tanta intenção como uma edificação.

Existem algumas classificações para os espaços livres, dentre elas uma das mais completas é a apresentada por Macedo et al. (2012) que definem as categorias e tipos dos sistemas de espaços livres, onde se pode observar a grande variedade de espaços, tanto públicos como privados, seus usos e características.

Uma dessas categorias apresentadas é a de espaços livres de práticas sociais, dentro da qual se encontram as praças, que são os espaços livres foco desta pesquisa, destinados ao lazer e ao convívio da população, acessíveis aos cidadãos e livres de veículos (ROBBA; MACEDO, 2010).

2.2.1. A Praça Brasileira

Na Antiguidade greco-romana, a praça era o espaço público mais importante e funcionava como centro vital da cidade. A Ágora foi a principal praça da civilização grega, o lugar de encontro dos cidadãos; era formada por um pátio aberto, circundado por edifícios públicos e administrativos.

Assim como a Ágora grega, a Praça do Fórum, na civilização romana, desempenhava um papel central na vida da cidade. Também era o espaço urbano principal, que tinha como fronteira edifícios adornados e era cercado por colunatas e decorado com esculturas e arcos. Esses espaços representavam o lugar da vida

cívica da cidade, eram os lugares de encontro dos cidadãos. Normalmente apresentavam-se como condição de nó, pontos estratégicos, muitas vezes centrais, para onde convergiam as atividades da urbe. Eram o centro vital da cidade e essa condição se mantém presente na estrutura das cidades ocidentais até hoje (CALDEIRA, 2007).

As praças medievais e renascentistas sucederam às praças greco-romanas (SITTE, 1965). Para ele o significado dessas praças era essencialmente diferente, pois as praças medievais e renascentistas raramente eram utilizadas para grandes festas públicas e para o uso cotidiano. Elas serviam, na maioria das vezes, para garantir a maior circulação de ar e luz e provocar uma interrupção na monotonia da cidade, proporcionando uma visão mais ampla dos edifícios monumentais de sua fronteira. Porém, uma parte considerável da vida pública continuava acontecendo nesses espaços, conservando o seu significado público. Continuavam então, sendo os pontos principais das cidades, sendo adornadas por chafarizes, monumentos, estátuas e memoriais.

Segundo Robba e Macedo (2010) as *piazze* na Itália, *places royales* na França, *plazas mayores* na Espanha e *squares* na Inglaterra serviram de base de estudo sobre a formação do espaço público e estão normalmente associadas ao ideal máximo de praça pública. Esses autores atentam para o fato de que estes espaços urbanos fazem parte do contexto europeu de cidades antigas que são muito diferentes da realidade urbana brasileira.

No Brasil os espaços secos são chamados de largos ou pátios, já a palavra praça está normalmente associada a espaços ajardinados ou simplesmente gramados, referindo-se mesmo aos canteiros centrais e aos espaços livres entre os edifícios. Os mesmos autores consideram que o uso e a acessibilidade são premissas básicas para definição do termo praça.

O processo de formação das praças brasileiras está diretamente ligado aos princípios urbanísticos da tradição portuguesa utilizados na colonização da América.

A rigidez formal da malha urbana portuguesa constituiu a praça como um espaço regular, geralmente centralizado na estrutura da cidade e a partir do qual se desenvolvia o traçado urbano. Essa estrutura de formação das cidades coloniais foi a força geradora dos primeiros espaços públicos no Brasil.

A maioria das praças brasileiras apresenta-se de forma quadrada ou retangular e as praças assumiram, desde sua formação, o papel de centro formal da cidade, em

termos simbólicos, funcionais e espaciais. As praças coloniais brasileiras tinham como característica formal dominante a presença de um templo em seu entorno, bem como edifícios importantes da cidade. No período colonial as praças eram chamadas de largos, terreiros ou rossios; eram espaços de interação que acolhiam todos os elementos da sociedade, eram espaços livres e polivalentes onde se manifestavam os costumes e hábitos da população e onde se articulavam diversos estratos da sociedade colonial (CALDEIRA, 2007; ROBBA e MACEDO, 2010).

Segundo Caldeira (2007), ao longo do tempo, as intervenções ou projetos de embelezamento do espaço urbano consolidaram cada vez mais esse modelo de praça formal. A característica multifuncional desses espaços permaneceu com o crescimento e desenvolvimento urbano, mas aos poucos a praça foi adquirindo uma nova composição devido à introdução e valorização da vegetação.

Atualmente, além das praças comportarem as atividades sociais e até comerciais também precisam absorver o intenso fluxo de pedestres das cidades contemporâneas que imprime, principalmente às praças localizadas em áreas centrais, um caráter de passagem (ROBBA e MACEDO, 2010).

Segundo Guiddings, Charlton e Horne (2011), a forma inicial das praças facilitou a defesa contra agressão externa, mas o posterior desenvolvimento delas em forma de pátio ofereceu um valor mais simbólico a esses espaços. Para o autor, as praças são os mais representativos espaços urbanos das cidades, marcando os valores das sociedades que as criaram.

Carmona, Magalhães e Hammond (2008) salientam a importância da identidade da praça pública, que é formada através dos edifícios do seu entorno, das pessoas que a utilizam e do uso que as pessoas fazem do espaço. Segundo o autor esses espaços podem ter formas, tamanhos e funções distintas, mas sempre desenvolvem função arquitetural ao se relacionarem com os edifícios do entorno, da sua fronteira.

2.2.2. Praças como Espaço de Práticas Sociais

Na construção do espaço pela sociedade, a praça, como qualquer outro espaço, transforma-se, submetendo suas linhas, volume e geometria a novas razões de conteúdo- sua função.

Embora de existência antiga, as formas de ocupação pelo homem e as ações por ele desenvolvidas nesse espaço são sempre atuais. O uso ou a apropriação dos

espaços, na forma mais autêntica, decorre da aspiração da comunidade e obedece às suas necessidades socioculturais (MOTTA, 1970).

Robba e Macedo (2010) observam que a praça está intimamente relacionada às questões sociais, formais e estéticas das cidades, não sendo possível falar sobre ela sem analisar o contexto urbano em que está inserida.

Mattos (2007), afirma que como a praça vincula-se fortemente ao lugar ao qual ela pertence, é fundamental compreender esse lugar, mais do que a forma, senão se estará estabelecendo um sistema fechado de análise.

Sun (2008) fala que a praça não é só um espaço físico aberto, mas também um centro social integrado ao tecido urbano. A sua importância se refere ao seu valor histórico, bem como a sua participação continua na vida da cidade.

A formação das praças como espaços simbólicos, lugares de memória e espírito do lugar se dá através da integração entre morfologia, estética e apropriação do espaço pelos usuários, ou seja, a praça é o símbolo da cidade, pois em seu espaço se desenvolvem atividades cotidianas que a caracterizam (CALDEIRA, 2007).

Por exercerem um papel tão importante nas práticas sociais, as praças se tornam locais de intensa vitalidade urbana, porém, se a forma urbana impactar negativamente nestes locais, eles podem se tornar pouco atrativos para a população.

2.3. Impacto da Forma Urbana na Vitalidade Urbana

Saboya (2016) define vitalidade urbana como algo que se refere à vida nas ruas, praças, passeios e demais espaços públicos abertos. Mais especificamente diz que um lugar possui vitalidade quando há pessoas usando seus espaços: caminhando, indo e vindo de seus afazeres diários ou eventuais; interagindo, conversando, encontrando-se; olhando a paisagem e as outras pessoas; entre outras diversas atividades. Em suma, a vitalidade urbana pode ser entendida como a alta intensidade, frequência e riqueza de apropriação do espaço público, bem como a interação deste com as atividades que acontecem dentro das edificações.

A vitalidade urbana tem grande influência na segurança da cidade, principalmente nos espaços públicos. Jacobs (2000) fala sobre a importância dos olhos da rua para a segurança, considerando-se que os olhos da rua são as pessoas que, consciente ou inconscientemente, utilizam o espaço público e as que costumam contemplá-lo desde as suas casas, exercendo uma vigilância natural

sobre o que ali acontece. Ela descreve o que chama de “balé das ruas”, em que vários atores, com os mais diversos propósitos, saem às ruas em horários diversificados para as mais diversas atividades. Essas atividades interagem entre si e de alguma forma acabam complementando-se, formando uma teia de interação social e cuidados mútuos.

O papel da forma arquitetônica e urbana na vitalidade de nossas cidades é uma das ideias centrais e menos esclarecidas nos estudos urbanos e na arquitetura. Desde o trabalho de Jacobs (2000), muitos autores se dedicaram a estudar sobre quais aspectos dos espaços públicos e das edificações teriam a capacidade de estimular a vitalidade (NETTO, VARGAS e SABOYA, 2012).

Furlan, Carvalho e Cartana (2016) avaliaram a isolação e o sombreamento gerado pelas edificações no ambiente urbano de Balneário Cambuoriú através do uso de Máscaras de Sombra e análises de radiação solar incidente nas fachadas, permitindo a análise da morfologia urbana existente decorrente da aplicação da legislação vigente. Chegando a conclusão que os espaços urbanos recebem poucas horas de insolação, em geral menos de 2h de sol diário, o que vem a comprometer um dos principais predicados urbanos de Balneário Camboriú, que é a vitalidade na ocupação dos espaços públicos, ainda que os mesmos sejam escassos e pouco qualificados.

Nesse sentido, a qualidade ambiental dos espaços livres pode incentivar a utilização do espaço pela população, o que determina a vitalidade urbana, que é essencial para cidade e é o que se busca ao se projetar um espaço livre.

As pessoas estão de modo direto na paisagem, são parte da paisagem, visto que além de se movimentarem nos espaços livres como pedestres, ciclistas, motoristas, passageiros, dando vida às vias publicas, também utilizam os espaços livres para os mais devidos fins, do lazer à manifestação pública (QUEIROGA, 2012).

Um espaço situado em um clima frio, ao qual não incide a radiação solar durante um número importante de horas do dia, poderá se encontrar vazio e inóspito (GONZÁLEZ, 2004). Motivo pelo qual, Costa (2008) argumenta que a insolação é um dos principais elementos indutores da compreensão/vivência do espaço público.

2.4. Forma Urbana de Pelotas

Considerada uma das capitais regionais do Brasil, Pelotas possui, segundo a estimativa do IBGE para 2019, cerca de 342 405 habitantes, sendo a terceira cidade mais populosa do estado.

O início do povoado do Rincão das Pelotas, no interior da Vila de São Pedro do Rio Grande, em 1780 foi assinalado pela instalação da primeira charqueada por iniciativa do português José Pinto Martins, na margem direita do Arroio Pelotas.

Entretanto, considera-se como marco inaugural da história oficial de Pelotas a data de 7 de julho de 1812 quando foi criada a Freguesia de São Francisco de Paula, por alvará do Príncipe-Regente D. João VI. A seguir, em 1830 por decreto imperial de D.Pedro I é elevada a condição de Vila de São Francisco de Paula emancipando-se da Vila do Rio Grande. Em 1835, no reinado de D.Pedro II, adquire a condição de cidade sob a atual denominação de Pelotas.

O processo de urbanização de Pelotas deu-se de forma rápida e ordenada. A cidade estabeleceu, desde o seu começo, normas de conduta, com o código de posturas, regras de administração, criando leis municipais, disciplinando a vida da comunidade e leis urbanísticas, organizando e estruturando a cidade. O resultado foi a caracterização espacial bem determinada desde sua implantação, como os lotes, profundos e estreitos, com as edificações ocupando toda a frente e junto à calçada, ruas mais largas no sentido norte-sul e mais estreitas, travessas, no sentido leste-oeste. As praças tinham dimensões estabelecidas, com todos os lados de iguais dimensões, e eram caracterizadas como espaços de passagem e de sociabilidade, um legado português (MATTOS, 2007).

Segundo o mesmo autor, o desenvolvimento da cidade de Pelotas teve seu auge no período de 1860 a 1900, quando houve recuperação econômica atrelada ao setor de produção e esforços para a construção de uma cidade moderna. O desenvolvimento econômico gerou o desenvolvimento urbano. No mesmo período houve um crescimento demográfico, resultando no aumento da malha urbana e na necessidade de novos espaços públicos para essa população. Praças foram criadas e as centrais delimitadas, equipadas e arborizadas, formando um sistema verde dentro da área central da cidade, com eixos visuais bem legíveis, dando condições ao indivíduo de deslocar-se, tendo como pontos referenciais as praças.

Ainda para Mattos (2007) a influência cultural exercida pelos países europeus, a necessidade da cidade conectar-se a uma nova ordem social, econômica e política pela qual o país passava na transição do século XIX ao século XX, quando as cidades passaram de império para republicanas, proporcionaram o surgimento de campanhas de modernização, de salubridade e de embelezamento das cidades.

O modo mais eficiente para essa modernização se deu através do cuidado com seus espaços públicos abertos, pois eles, a princípio, poderiam ser utilizados por todos, sem descriminação de raças ou de poder econômico, demonstrando uma civilidade e uma modernidade tão valorizadas pelo novo regime.

As praças sempre tiveram um papel de grande importância na vida social da cidade, e com o tempo se tornaram cada vez mais importantes para o lazer e o bem estar da população, o que fez com que se multiplicasse o número de praças em Pelotas, incluindo aí as praças dos bairros menos centrais.

2.4.1. Plano Diretor Municipal de Pelotas

Segundo Saboya (2010) o plano diretor de uma cidade possui como uma de suas principais funções o estabelecimento dos limites da ocupação urbana, buscando manter certa coerência entre a densidade populacional, as atividades e a disponibilidade de infraestrutura urbana (esgoto, transportes, água, energia, entre outros), bem como gerenciar os impactos na paisagem e as interferências dos edifícios entre si (ventilação, insolação e outros).

Em 2008 foi aprovada a Lei 5502/08, que instituiu o Plano Diretor de Pelotas/RS, o qual foi construído segundo premissas de sustentabilidade e dos conceitos contidos no Estatuto das Cidades (2001).

Abuchaim (2012) relata que o processo para a elaboração do Plano de 2008 iniciou em 2001 quando estava sendo organizada uma equipe na cidade para retomar o processo de planejamento urbano. O processo de elaboração do Plano foi interrompido em 2003 e 2004, sendo retomado apenas em 2005 com a troca do titular da Secretaria de Urbanismo.

A elaboração do plano contou com a participação de várias secretarias municipais, profissionais da Universidade Federal de Pelotas e outros profissionais contratados de diversas áreas. Estes profissionais foram divididos em grupos separados por temas os quais trabalharam separadamente e uma equipe de

coordenação tinha a tarefa de reunir e organizar o material resultante para a criação de um único documento.

Esse método de trabalho segundo a mesma autora se refletiu no Plano, pois ele ficou fragmentado e com níveis diferentes de profundidade em cada tema.

Em 2018 o Plano Diretor foi revisado e discutido e foi aprovada a Lei 6636/18 que altera a Lei 5502/08 do Plano Diretor, fazendo assim algumas modificações no Plano.

Dentre essas modificações foram alteradas algumas alturas máximas permitidas, porcentagens de área de lazer em condomínios e loteamentos, e mais diretamente ligado à questão do acesso solar, baseado nos estudos de Vianna (2017) foi incluído uma ementa ao artigo 123 que determina que todos os projetos para serem aprovados devem apresentar um estudo de sombras projetadas pela nova edificação no solstício de inverno, que garanta no mínimo duas horas de sol em ao menos uma fachada das edificações vizinhas ou de um lado do terreno vizinho, no período das 10h até as 14h.

2.4.2. Levantamento dos Índices Urbanísticos propostos pelo Plano Diretor Municipal de Pelotas

Os índices levantados e considerados nessa pesquisa contemplam e apresentam a revisão e as modificações do Plano Diretor que foram sancionadas em setembro de 2018.

O Plano Diretor Municipal dispõe que o sistema viário municipal tem suas vias classificadas em Vias de Ligação Regional, Vias Arteriais, Vias Coletoras, Vias Locais e Ciclovias.

Como o recorte do trabalho assume praças dentro do perímetro urbano, são apresentadas as informações relativas às vias arteriais, coletoras e locais (Tabela 1).

Gabarito das Vias			
	Gabarito mínimo	Pistas de Rolamento	Passeios
Vias Arteriais	40 m	duas com 9 m cada	5 m*
Vias Coletoras	18 m	10 m	4 m
Vias Locais	16 m**	-	-
* com 2 m de faixa verde			
**14 m para ruas sem saída com retorno e máximo de 200 m de comprimento			

Tabela 1- Gabaritos das vias de acordo com o Plano Diretor Municipal de 2008.
Fonte: Plano Diretor de Pelotas, elaborado pela autora, 2018.

Conforme os artigos 123 e 124 do Plano Diretor de Pelotas (PDP), em relação aos índices urbanísticos, a Taxa de Ocupação máxima é de 70% e a altura máxima é de 10m em todo o perímetro urbano. É permitida altura de 13 m em vias com o gabarito igual ou superior a 16m, desde que o terreno possua testada superior a 12m.

De acordo com o artigo 125 é permitido edificações de até 20 m de altura em imóveis que possuam testadas iguais ou superiores a 15 m e que estejam voltados para os logradouros ou trechos citados no plano (avenidas mais largas).

O artigo 126 permite edificações de até 25 m de altura em imóveis que possuam testadas iguais ou superiores a 18m e que estejam voltados para os logradouros ou trechos citados no plano (todos esses trechos são avenidas).

Em relação aos recuos, a tabela 2 apresenta os critérios que devem ser adotados de acordo com o Plano Diretor de Pelotas.

Recuos			
	Ajardinamento	Lateral	Fundos
Em todo o perímetro urbano- Art. 123	4 m*	-	3m
Em logradouros com gabarito igual ou superior a 16m, desde que o lote possua testada igual ou superior a 12m- Art. 124	4 m*	R = (0.4 x H)/2	R = (0.4 x H)/2
Em logradouros com gabarito igual ou superior a 15m, desde que estejam inseridos nas poligonais definidas no plano- Art. 125	4 m*	R = (0.35 x H) /2	R = (0.35 x H) /2
*poderá ser dispensado através de estudo prévio do entorno imediato no caso de evidenciar-se, no raio de 100,00m (cem metros), a partir do centro da testada do lote, a existência de mais de 60% (sessenta por cento) das edificações no alinhamento predial.			

Tabela 2- Recuos de acordo com o Plano Diretor Municipal de 2008.
Fonte: Plano Diretor de Pelotas, elaborado pela autora, 2018.

3. ESTUDOS DA INSOLAÇÃO

Lechner (1990) conceitua o Direito ao Sol como o “direito ao acesso à radiação solar direta sem obstáculos de objetos adjacentes”. Isso significa que a implantação de novas edificações não deve projetar indevidamente sombras nas habitações existentes nem no seu entorno.

Segundo o mesmo autor, embora leis de proteção ao acesso solar sejam raras, elas existem nos Estados Unidos e são empregadas há séculos na Inglaterra. Outros países como Austrália e Japão também possuem leis que garantem a proteção do acesso solar às residências.

O Direito ao Sol como forma de lei teve seu primeiro registro na antiguidade, em Roma no século VI, quando o imperador Justiniano criou uma lei que proibia a construção de novas edificações que bloqueassem o sol dos vizinhos. Com a queda do império romano, novas leis que garantissem o acesso ao sol não foram criadas na Europa por pelo menos mil anos. Apesar disso, foram encontrados exemplos na arquitetura vernacular de alguns povoados localizados na Ásia, África e nas

Américas que mantiveram os princípios de orientação solar e adaptação dos recursos naturais disponíveis com o propósito de garantir iluminação e aquecimento de suas habitações.

Séculos mais tarde, na Inglaterra, uma lei de 1832 estabelecia que novas construções não poderiam bloquear a luz natural que vinha sendo recebida há mais de 20 anos por uma edificação vizinha.

No Japão, em 1976, um tribunal de Tóquio condenou um prédio de escritórios a pagar aos moradores da vizinhança uma multa devido às sombras que provocava. A sentença do juiz declarava que a "luz do sol é essencial para uma vida confortável e, portanto, o direito de desfrutá-la devia ser devidamente protegido por lei". A partir daí, foi criada a lei *"Nissho-ken*" que deu origem aos "Códigos de Sol" em mais de 300 cidades japonesas, que aplicam penalidades para novos empreendimentos cujas sombras projetadas impedem as edificações vizinhas de ter acesso ao sol (RULE, 2014).

Nos Estados Unidos, neste mesmo ano de 1976, o professor Ralph Knowles da Universidade do Sul da Califórnia desenvolveu o método Envelope Solar, que serviu de suporte e embasamento legal para as relações entre altura das edificações e área de sombra projetada pelas mesmas. Estados como a Califórnia e o Novo México criaram leis de direito solar, no entanto, a maioria da proteção legal resulta dos códigos de zoneamento que determinam a quantidade de acesso solar a ser alcançado nos telhados e fachadas.

A Austrália conta com um manual publicado pelo Departamento de Energia, Serviços Públicos e Sustentabilidade, o qual explica passo a passo como devem ser detalhadas em planta as zonas de acesso solar nos projetos de parcelamento do solo e dos lotes, com o objetivo de estimular o potencial de recebimento de luz solar.

No contexto brasileiro, os critérios que permitem o controle e o acesso solar estão previstos nas legislações urbanísticas, mesmo que implicitamente, através da implantação obrigatória de recuos, taxas de ocupação e das alturas máximas permitidas na ocupação dos lotes previstos nos planos diretores municipais.

Entretanto, mesmo em locais com leis específicas que garantem o acesso solar, nem sempre as leis são cumpridas dificultando sua aplicação.

Pode-se observar que as poucas leis existentes em relação à garantia do acesso solar tratam desse acesso às edificações, não havendo uma preocupação com a insolação nos espaços livres das cidades.

A garantia do acesso solar é muito importante, afinal, são bastante conhecidos os benefícios gerados pelo acesso à radiação solar, que vão além dos efeitos bactericidas produzidos pela radiação ultravioleta presente no espectro solar, mas que também proporcionam ambientes mais confortáveis, mais iluminados e aquecidos.

Além disso, existem diversos benefícios para a saúde e organismo das pessoas, sendo estes fisiológicos, biológicos, psicológicos, entre outros.

3.1. Relação da Iluminação Natural com a Saúde dos Indivíduos

Para ativar algumas de suas funções fisiológicas, os seres humanos, precisam da exposição à luz natural. Segundo Vianna e Gonçalves (2001) desde o nascimento, as pessoas estão submetidas ao ritmo da natureza, a existência do dia e da noite, esses elementos são condições necessárias para que se sintam pertencentes ao próprio tempo.

A exposição regular à luz solar é necessária para os indivíduos, devido aos benefícios da radiação eletromagnética no corpo humano, contudo, deve haver cautela quanto à exposição à radiação, que em excesso pode trazer riscos de subexposição e superexposição (VIANNA, 2017). Para a autora, enquanto os perigos da superexposição à luz solar são bastante divulgados, os perigos de uma baixa exposição acabam sendo esquecidos. Mesmo que a redução da camada de ozônio seja preocupante, isso não modifica o fato de que os seres humanos precisam ao menos de um nível mínimo de exposição aos raios solares para promover a saúde, o bem-estar e o conforto.

Não existem pesquisas que expliquem o motivo que leva as pessoas a desejarem a luz do dia, contudo, além dos benefícios trazidos pela exposição à radiação eletromagnética, existe um aspecto chamado de Ritmo Circadiano ou Ciclo Circadiano que explica como o ciclo solar (claro-escuro), influencia nos processos biológicos em quase todos os organismos e seres humanos (TREGENZA e WILSON, 2011; DUFFY e CZEISLER, 2009).

Assim como os ritmos circadianos são afetados pela exposição à luz solar, existe um transtorno chamado de TAS- Transtorno Afetivo Sazonal ou SAD- *Seazonal Affective Disorder*, que para Tregenza e Wilson (2011), é uma doença depressiva que varia de acordo com a época do ano, provocada pela ausência de sol.

Segundo Baek et al (2015) alguns fatores são apontados como decisivos na sazonalidade do humor: quantidade de luz, temperatura durante o dia e o aumento da umidade. De acordo com a APA- *American Psychiatric Association* (2014), existe uma maior prevalência de Transtorno Afetivo Sazonal (TAS) nos lugares em cujas latitudes existem significativas reduções nas horas de dia, ocorrendo especialmente nos meses de outono e inverno.

A exposição à luz solar está relacionada também com a produção de vitamina D, e a deficiência dessa vitamina pode causar problemas como o raquitismo, e em idosos pode causar fragilidade nos ossos e aumentar o risco de fraturas. O único órgão capaz de produzir a vitamina D nos seres humanos é a pele, sendo assim a concentração dessa vitamina no organismo é influenciada pela incidência de radiação solar, que varia com a latitude e a estação do ano, os hábitos culturais de cada população como a vestimenta e a alimentação, entre outros (PREMAOR, 2006). No Brasil, se comparado a países europeus e norte americanos, existem poucos estudos sobre a falta da vitamina D, porém o estado do Rio Grande do Sul, devido às suas características climáticas, apresenta maior possibilidade da doença (JUNIOR et al., 2011).

É sabido que as condições climáticas de uma localidade condicionam o modo de vida de seus habitantes. O desenho dos espaços públicos sempre significou ao longo da história uma resposta às condições climáticas adversas, facilitando a adaptação do homem ao ambiente externo (MACHO, DOMÍNGUEZ, FÉLIX e VILA, 1994).

O controle ou o acesso ao sol e à luz do dia sempre foram um dos principais definidores da forma urbana e arquitetônica nos diversos assentamentos humanos. As construções vernáculas apresentam a prática da concepção de espaços que se adequavam às características do sítio climático, empregando, de modo bastante eficaz, os recursos naturais disponíveis (RAPOPORT, 1969).

Um exemplo disso é a forma como alguns índios americanos (Pueblos) utilizavam regras de acesso à radiação solar para construir as suas aldeias: as casas eram expostas ao sul (insolação de inverno no hemisfério norte) a fim de captar a energia gratuita do sol para aquecimento no inverno, enquanto suas coberturas se prolongavam protegendo-os da intensa radiação solar direta, durante o período de extremo calor do verão (KNOWLES, 1981).

Portanto, parece evidente a necessidade das áreas livres públicas permitirem e potencializarem o acesso solar aos cidadãos que habitam a cidade em épocas com menos insolação como o inverno.

Em 2011, a *United Nations Human Settlements Programme* (UN-HABITAT, 2015) aprovou a resolução sobre o desenvolvimento urbano sustentável, através do acesso a espaços públicos urbanos de qualidade, observando que os espaços públicos qualificados reforçam os laços entre os usuários e as comunidades, e proporcionam saúde e o bem-estar aos cidadãos.

A forma urbana pode impactar diretamente nessa qualidade dos espaços livres das cidades, gerando insolação ou sombreamento excessivos, ventilação insuficiente ou em excesso, causando assim prejuízos a saúde e o bem estar dos cidadãos.

3.2. Impacto da Forma Urbana no Clima

A morfologia urbana é um fator determinante da sustentabilidade urbana, na busca da qualidade dos espaços urbanos e no conforto bioclimático dos indivíduos. As características geométricas e materiais dos espaços, as relações entre cheios e vazios, a presença ou não da vegetação influenciam o desempenho ambiental dos espaços urbanos, por interferirem na exposição à radiação solar e aos ventos (ROMERO e SILVEIRA, 2005).

Segundo Leite e Frota (2016) é importante ressaltar que as obstruções dos edifícios verticais nos espaços urbanos produzem um significativo sombreamento, reduzindo as parcelas visíveis de sol e céu, e consequentemente diminuindo-se a radiação solar incidente e absorvida pelas superfícies.

A morfologia urbana e a implantação das construções no tecido urbano são os principais fatores que afetam a acessibilidade aos ventos, insolação, e à luz do dia nos espaços urbanos. A integração dos parâmetros de disponibilidade solar na morfogênese urbana, por exemplo, pode ser encontrada tanto em práticas da arquitetura vernácula, como em pesquisas mais recentes sobre o direito de acesso à insolação direta (RAPOPORT, 1969; MORELLO e RATTI, 2009).

Para Batista e Rossi (2013) a forma da cidade, o espaçamento das ruas e avenidas, os vazios, praças e parques, a altura, espaçamento e recuo dos edifícios influenciam e até determinam relações no ecossistema. Essas características podem

alterar a dinâmica econômica e as relações sociais, bem como a mobilidade e a qualidade ambiental.

Segundo Macedo et al. (2012), as cidades brasileiras possuem padrões morfológicos semelhantes, isso fica evidente na repetição dos tipos de traçado (ortogonais, orgânicos, radiais) e nos padrões de malha urbana (linear, tentacular, compacta, mista). Conforme os autores, o que confere a especificidade das diversas cidades é a forma como elas estão inseridas em seu contexto territorial, os arranjos espaciais, seus padrões culturais, socioeconômicos, a legislação municipal, as tipologias e funções dos espaços livres e a paisagem urbana. Nas cidades médias brasileiras as formas como os padrões morfológicos se adéquam ao suporte físico, transformando a paisagem local, confere ao Sistema de Espaços Livres diferentes dinâmicas espaciais, funcionais e tipológicas.

A densidade construída produz efeitos na forma urbana através dos índices urbanísticos que são previstos nos regulamentos das cidades. A densidade construída, também pode ser definida por uma escala de referência (escala da cidade, escala de bairro, de bloco ou de parcela), no entanto, nenhum desses indicadores é capaz de expressar a forma urbana de forma isolada (VIANNA, 2017).

Tecidos urbanos apresentam diferentes graus de continuidade e descontinuidade, proximidades e afastamentos entre edificações, implicando diferentes relações entre espaços construídos e o espaço livre público. O elemento essencial nesse tecido é o próprio edifício e suas relações (NETTO, VARGAS e SABOYA, 2012).

A luz natural é a forma mais antiga e frequente de iluminar os recintos urbanos e também de iluminar os edifícios que os delimitam. Segundo Pattini, Córica e Mascaró (2006), a arquitetura, ao se constituir em definidora dos espaços urbanos, os mostra como sendo marcos de sua própria razão de ser. A inter-relação entre eles, ao mesmo tempo, cria os ambientes resultantes da cidade. A ambiência urbana é consequência dessa relação, o meio ambiente visual urbano diurno não se explica e nem é compreendido sem a intermediação da arquitetura que forma os recintos urbanos, cujo sentido está no seu entorno construído e natural. Para as autoras existem dois conceitos básicos em relação à luminosidade, a disponibilidade de luz natural e a duração das horas de sol, ambos destacados como temas regionais, pois dependem da localização geográfica (latitude e longitude), da época do ano e do tipo

de céu local. Conhecer a quantidade e a qualidade dessa luz em determinado local é essencial para o seu aproveitamento adequado.

Costa (2008) propõe o estudo do papel da luz na arquitetura e no urbanismo a partir do ponto de vista do pedestre, passando os limites de considerar o elemento luz como um dado adquirido, mas o reconhecendo como elemento protagonista ou gerador do espaço urbano.

Já Scalco, Pereira e Rigatti (2010) buscaram desenvolver um método para a avaliação dos impactos de novas edificações em vizinhanças urbanas com relação ao acesso às condições mínimas de insolação e iluminação natural. Constatando que na literatura específica da área não existem métodos específicos para a avaliação de impactos, todavia se encontram parâmetros e técnicas adequados para a avaliação da iluminação natural e insolação passíveis de adaptações para as particularidades dos estudos de impacto de vizinhança.

Campos e Júnior (2015) verificam da influência do sombreamento gerado pelos três edifícios mais altos na zona com maior capacidade de verticalização em Curitiba. Concluindo que, de fato, o sombreamento causado pelos edifícios analisados compromete consideravelmente as construções vizinhas a eles e o seu entorno imediato e sugerindo que os órgãos responsáveis pela revisão do Plano Diretor analisem a possibilidade de especificar melhor a questão de altura livre em certos zoneamentos da cidade com o critério de proporcionalidade do entorno construído, evitando assim, impactos expressivos de sombreamento no futuro.

Em locais de clima frio, os espaços exteriores devem estar abertos à trajetória solar, com uma forma e uma proporção que lhes permitam receber o máximo sol (GONZÁLEZ, 2004).

Vianna (2017) discorre que, em locais onde a densidade construída é significativa, grande parte da trajetória da radiação solar incidente nos edifícios chega às coberturas e apenas uma parcela pequena chega ao solo. Quando os edifícios são altos e estão pouco espaçados entre si, pouca radiação solar incidente chega às ruas e espaços abertos, ocasionando a perda da qualidade dos ambientes e a redução do potencial energético das cidades.

O clima exterior, nos espaços livres, pode ser bastante influenciado pela forma urbana, e em locais com climas frios é importante que o acesso solar não seja bloqueado pelas edificações, por exemplo, uma edificação muito alta na fronteira de

uma praça pode gerar sombreamento durante todo o dia, porém existem métodos para saber quais alturas são adequadas para garantir a insolação.

Uma das maneiras de análise do acesso solar às edificações e às áreas livres é através do método Envelope Solar, também conhecido como Prismas de Sol ou Envoltória Solar.

3.3. Envelope Solar

O Envelope Solar é conceituado como o máximo volume de uma edificação que pode ser construído em um terreno de forma que esta não projete sombras indesejáveis fora de seus limites, garantindo aos lotes vizinhos o acesso ao sol (KNOWLES, 1981).

Knowles iniciou, em 1976, na Faculdade de Arquitetura da Universidade do Sul da Califórnia (USC), juntamente com alunos e professores, o desenvolvimento e teste do método Envelope Solar. Para ele o Envelope Solar poderia regular o desenvolvimento urbano dentro de limites imaginários derivados do movimento relativo do sol. Mais tarde, o próprio Knowles (2003) definiu o Envelope como uma construção de espaço e tempo. Capeluto e Shaviv (2001) afirmaram que o Envelope Solar é um espaço, no qual todas as soluções de projeto são possíveis e formadas considerando a otimização da radiação solar e considerando como ela lança sombra sobre o ambiente próximo. Para Pérez (2007), o Envelope Solar também é definido pela passagem de tempo, no que se refere à duração do acesso solar determinada por um arco que representa a trajetória aparente do sol. Para o caso de uma análise para o período de um ano a representação se dá por dois arcos: um que represente a trajetória do sol para o inverno e outro para o verão.

Segundo Knowles (1981), a forma e as dimensões do envelope são variáveis e definidas através de parâmetros como: o tamanho do lote, a orientação solar, a latitude do local, os horários do dia em que se deseja radiação solar direta e o nível de sombreamento permitido nas ruas e edificações adjacentes.

Brown e Dekay (2007) relataram que os Envelopes Solares podem ser gerados partindo do ponto de vista do lote a ser protegido (Fig. 4), como em casos onde a volumetria das edificações do entorno deve ser limitada para a preservação do acesso solar de áreas externas, como praças ou jardins os quais dependem do clima no ambiente local para permitir uso e apropriação.

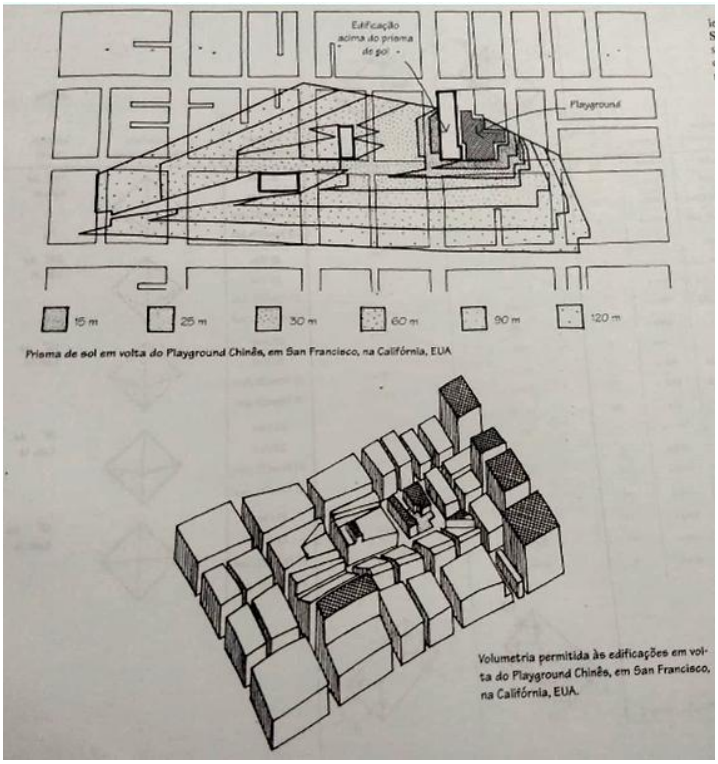


Figura 4- Envelope Solar partindo do lote a ser protegido
Fonte: BROWN e DEKAY, 2007.

O Envelope Solar pode ser utilizado como instrumento de auxílio ao planejamento e projeto urbano, a fim de assegurar às construções e/ou aos espaços livres um nível mínimo de radiação solar direta. Usando este método, pode-se determinar a geometria e a orientação das calçadas, espaços abertos e a configuração dos edifícios, de forma a assegurar sua exposição ao sol de inverno, em determinados contextos climáticos, e/ou promover a proteção adequada do sol no verão ou o ano inteiro, em contextos de clima quente (MARTINS, 2014).

Knowles e Berry (1980) colocaram como vantagem do uso do Envelope Solar, tratar-se de uma forma de controle necessariamente sensível às condições específicas de cada lugar, representando uma mudança relativamente simples nas formas precedentes que definem gabaritos de altura e distância entre os edifícios, que não têm, em geral, comprometimento algum com as condições ambientais locais.

Um dos principais problemas apontados pelos autores como desvantagem nesse método foi o impacto sobre o uso do solo, a menor densidade de construção e a valorização do solo urbano, levando ao entendimento de que o conceito deve ser

tratado como cuidado para que se chegue a um ponto de equilíbrio entre esse e as necessidades locais de desenvolvimento urbano.

O Envelope Solar pode ser gerado de duas maneiras, através do método não computacional ou do método computacional.

O método não computacional é fundamental para o entendimento do conceito e o processo de geração do volume do envelope pode ser feito através de duas maneiras: método desenvolvido por Knowles e Berry (1980) ou o processo desenvolvido por Brown e Dekay (2007).

Knowles e Berry (1980) desenvolveram um processo de construção do envelope que aplica ângulos de altura solar nos limites das divisas do lote, gerando o volume do envelope através do cruzamento diagonal desses ângulos sobre o lote, conforme ilustra a Fig. 5.

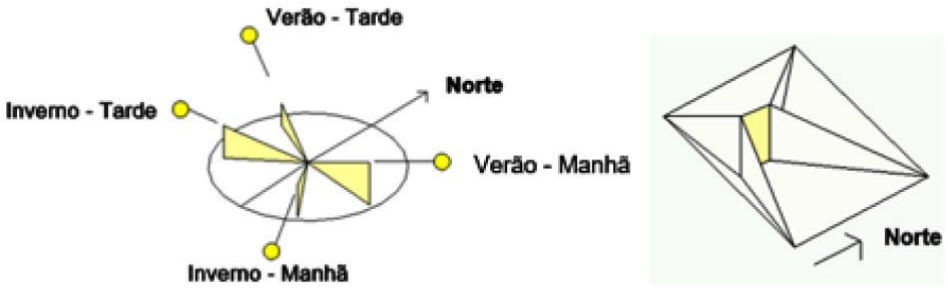


Figura 5- Envelope Solar gerado a partir do método desenvolvido por Knowles e Berry (1980)
Fonte: ASSIS, et al. 2007. Adaptado por VIANNA, 2016.

No método de geração do envelope solar desenvolvido por Brown e Dekay (2007), a geometria é determinada pelo horário do dia no qual o acesso solar deve ser mantido. Neste método, são utilizadas tabelas que apresentam uma escala de critérios de acesso solar apropriados para cada latitude.

Em relação aos métodos computacionais, pesquisas apresentam diversas ferramentas que analisam o desempenho energético de edificações e espaços livres através de variáveis energéticas e climatológicas. Alguns destes programas computacionais permitem a geração automática do Envelope Solar, entre eles destacam-se o *Ecotect Analysis, CityZoom* e o aplicativo *DIVA* para *Grasshopper*.

O *Ecotect Analysis* é uma ferramenta da *Autodesk* que a partir de 2015 passou a integrar a família de produtos *REVIT*. É um software que permite a simulação de conforto térmico, acústico e luminoso e possui comando para a análise dos direitos

solares e de iluminação, através de dados de latitude, longitude, mês, dia e hora, os quais permitem verificar o sombreamento do edifício ou do espaço aberto a ser protegido. As Fig. 6 apresenta a tela do software.

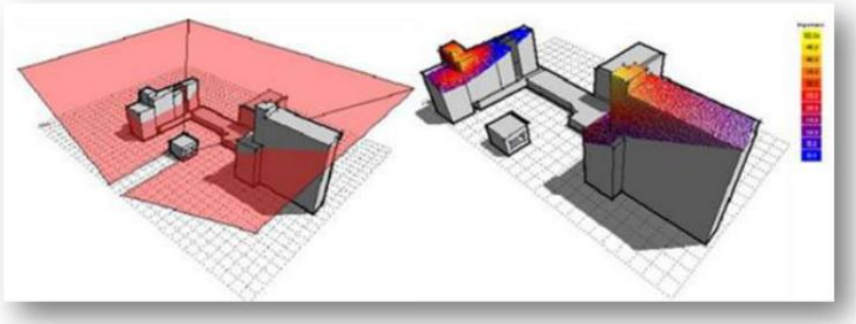


Figura 6- Tela do software *Ecotect Analysis*
Fonte: PÉREZ, 2013.

O Laboratório para simulação e modelagem em arquitetura e urbanismo – SimmLab – UFRGS desenvolveu o *CityZoom*, software de apoio a decisão para o planejamento urbano, o qual simula os diferentes impactos de projetos arquitetônicos e normas urbanísticas. Através de um de seus componentes, que simula o potencial construtivo em lotes urbanos com base na legislação urbanística, pode gerar conjuntos de edifícios em diversos cenários urbanos. Este componente, utiliza técnicas do Envelope Solar, por meio do ajuste dos limites dos lotes dos vizinhos e o período de garantia do acesso solar, obtendo assim o volume do envelope, conforme apresentado na Fig. 7.

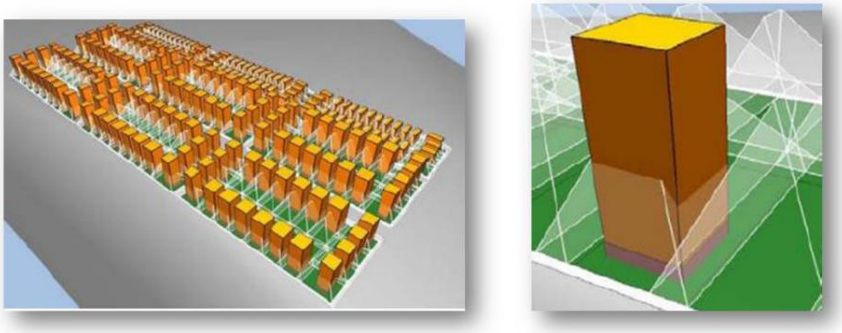


Figura 7- Envelopes solares gerados através do software *Cityzoom*
Fonte: PÉREZ, 2013.

O aplicativo *DIVA* para *Grasshopper* funciona dentro do ambiente *Rhinoceros* e permite a simulação de desempenho dos edifícios e áreas urbanas em modelos 3D, através de variáveis como iluminação natural, radiação solar, energia por meio de suas ferramentas de análise: *DIVA Daylight, DIVA Thermal* e *Solar Tools*. Entre as ferramentas solares, o componente Envelope Solar gera o envelope para os edifícios, e o componente Solar Fan gera o envelope invertido, para o espaço a ser protegido, a partir dos dados de latitude, período de tempo que se deseja acesso ao sol e o perímetro do lote ou espaço para o qual o envelope deverá ser gerado.

O componente Solar Fan aplica o conceito do Envelope Solar Invertido, partindo do lugar a ser protegido ele define o limite do que pode ser construído no entorno para a proteção do acesso solar a determinado espaço. Geralmente é utilizado na avaliação ambiental de praças, parques e jardins.

Este aplicativo tem como vantagem a verificação das questões energéticas e de iluminação natural ainda na fase inicial de projeto. A Fig. 8 apresenta as ferramentas solares no ambiente *Grasshopper* e o componente Solar Fan gerado com o uso do software *DIVA*.

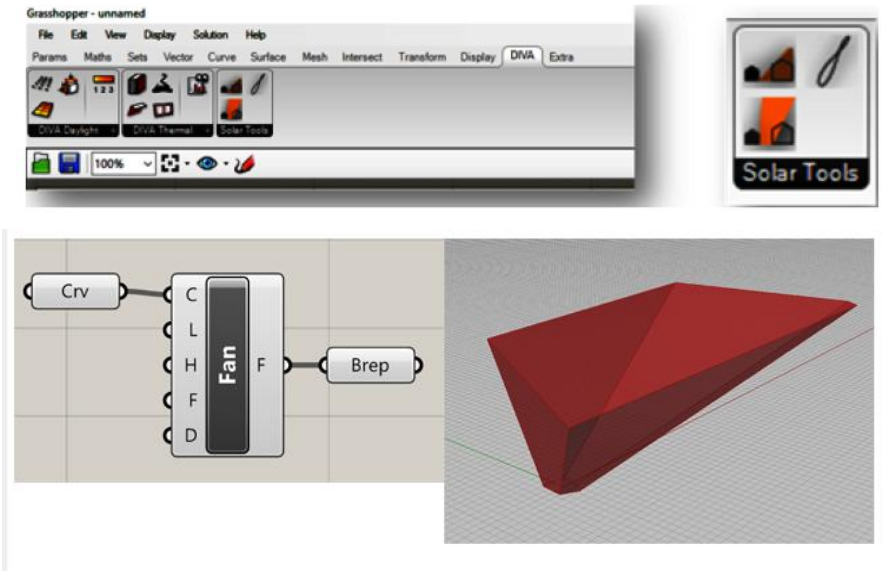


Figura 8- Ferramentas solares no ambiente do *Grasshopper* e o componente Solar Fan gerado no software *DIVA*
Fonte: DIVA4HINO, 2016.

Dessa forma, para a construção do Envelope Solar, tanto nos métodos não computacionais como nos métodos computacionais, são utilizados ângulos solares e dados relativos ao movimento aparente do sol, no entanto, considerando a rapidez

de visualização dos dados, o método computacional é mais eficiente na geração do envelope, muito embora o conhecimento do método não computacional ajude no entendimento do conceito de Envelope Solar.

No presente trabalho optou-se pela utilização do método computacional, para a geração dos Envelopes Solares Invertidos, através do aplicativo *DIVA* para *Grasshopper* no *Rhinoceros.*

3.3.1. Estudos com o Método do Envelope Solar

Shaviv, Yezioro e Capeluto (2001), apresentaram um estudo de caso em Tel Aviv (Israel), no qual o Envelope Solar foi utilizado para o projeto de um novo distrito de negócios em uma área de alta densidade urbana. De acordo com o estudo, usando esse conceito pode-se determinar a altura máxima permitida para os novos prédios, garantindo insolação na vizinhança residencial existente.

Capeluto et al. (2005) consideraram em um artigo que, durante os estágios iniciais de projeto de bairros urbanos, os projetistas lidam principalmente com as características geométricas dos prédios e suas proporções, além de suas alturas e distancias entre si. Esses parâmetros relacionam-se ao perfil, dimensões e orientação de ruas e espaços abertos. Sendo assim, os autores apresentaram uma ferramenta de projeto baseada no método Envelope Solar que pode ser utilizada em estágios iniciais de projeto para planejamento urbano chamada SustArc. Essa ferramenta fornece a geração e avaliação de diferentes configurações de prédios, garantindo o acesso solar a cada edifício da vizinhança e aos espaços livres, como calçadas, jardins e praças.

Assis, et al (2007) descreveram uma experiência de regulamentação em escala urbana na qual o acesso sol foi garantido em cada lote de modo a viabilizar o uso de sistemas de conversão solar térmica através da integração do conceito de Envelope Solar à lei de uso e ocupação do solo no município de Paracatu/ MG.

Lins, Sonza e Ely (2009) trabalharam com simulações em malhas urbanas aplicando o conceito de Envelope Solar. Para isto, utilizaram o software Cityzoom para suas análises e demonstraram que a malha que respeita o envelope proporciona um melhor aproveitamento da energia solar.

Perez e Favero (2014) utilizaram o Envelope Solar como subsídio para a determinação de formas regulatórias de adensamento e verticalização, e verificaram o potencial deste dispositivo como possível critério de diretrizes solares para o

ambiente urbano, aplicadas no controle da ocupação do solo, compactação de bairros, ocupação de vazios urbanos, das periferias, das novas centralidades e das pequenas cidades. Concluíram que o uso do Envelope Solar, é uma alternativa de estratégia para o desenvolvimento e recomendação de diretrizes solares para o planejamento urbano e para projetos de parcelamento urbano e de edificações.

Vartholomaios (2015) apresentou o envelope do Bloco Solar Residencial (Residential Solar Block - RSB), um derivado do Envelope Solar original, que permite o desenvolvimento de blocos urbanos residenciais compactos com alto potencial solar passivo. Segundo o autor, o método de construção representado pelo envelope RSB é transferível para diferentes condições climáticas e de desenvolvimento. Os dados de geometria solar necessários para a sua construção são deduzidos a partir de simulações de energia de uma zona térmica típica com relação a ganhos solares passivos úteis e necessidades climáticas locais. Um estudo piloto do envelope RSB foi aplicado a um local urbano no Mediterrâneo e a análise de insolação demonstrou que a forma urbana gerada pelo envelope RSB supera de longe o layout do edifício existente em termos de acesso solar de inverno. Embora a forma urbana linear tenha demonstrado um desempenho otimizado, a flexibilidade de projeto oferecida pelo envelope RSB permite uma aplicação mais generalizada em vários locais urbanos.

Canan e Tosunlar (2016) analisaram a implementação de abordagens sustentáveis nos escritórios de projeto de arquitetura, desenvolvendo projetos que se utilizam do Envelope Solar. Os autores ensinaram o método do Envelope Solar aos estagiários dos escritórios, determinando o efeito do sol no projeto arquitetônico e os efeitos do método através dos impactos vantajosos e desvantajosos no processo de projeto arquitetônico. Como resultados observaram que os alunos produziram produtos arquitetônicos mais tangíveis e sustentáveis, e uma maior consciência sobre os efeitos do sol, que poderão impactar novos projetos.

De Luca (2016) discutiu as potencialidades de ferramentas de otimização multi-objetivos para gerar Envelopes Solares para múltiplas fachadas com diferentes orientações e quantidade específica de requisitos de acesso solar direto. Os resultados mostraram a superioridade do método desenvolvido que integra projeto paramétrico, simulações ambientais e otimização multi-objetivo, em comparação com os métodos existentes.

Vianna (2017) utilizou o Envelope Solar para analisar o direito ao sol implícito nos índices urbanísticos previstos nos três planos diretores municipais de Pelotas/ RS, empregando como base de análise diferentes configurações de lotes residenciais, dispostos em diferentes orientações. Os resultados obtidos nas análises indicaram que não se verificou na evolução da legislação urbanística do município a garantia do “Direito ao Sol” nos lotes destinados à habitação. O estudo concluiu a necessidade de uma revisão ou adaptação da legislação urbanística em vigor a fim de proporcionar a garantia das condições de controle e acesso solar as edificações e entorno imediato, necessidade essa que foi contemplada na revisão do Plano Diretor de Pelotas de 2018.

Os referenciais analisados demonstraram que o método Envelope Solar tem sido usado por pesquisadores em trabalhos que abordam o planejamento urbano e a garantia de acesso solar a espaços livres e edificações. Esses estudos sobre insolação são, em sua maioria, desenvolvidos através de simulação computacional.

3.4. Condições Climáticas de Pelotas

Pelotas é uma cidade brasileira localizada ao sul do estado do Rio Grande Sul, a 52º 20’ 34” O de longitude e 31º 46’ 19” S de latitude. A cidade possui clima Subtropical úmido, onde os verões são relativamente quentes e com precipitações regulares, com as temperaturas máximas absolutas situando-se entre 34ºC a 36ºC, enquanto os invernos são relativamente frios, com ocorrência de geadas e nevoeiros, com temperaturas mínimas absolutas entre -2ºC e 0ºC, demonstrando, portanto uma grande amplitude térmica para os padrões brasileiros.

As cartas solares são utilizadas para determinar o ângulo de incidência solar sobre uma superfície específica e consistem na representação gráfica das trajetórias aparentes do Sol, projetadas no plano do horizonte do observador para cada latitude específica.

A carta solar para a latitude aproximada de Pelotas, 32º Sul, gerada pelo *software Analysis* SOL-AR (LABEEE, 2009), é apresentada na Fig. 9.

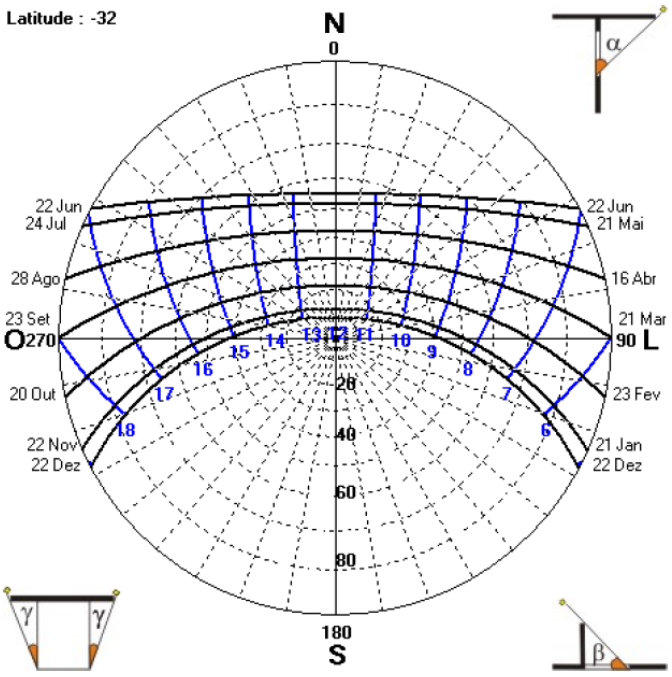


Figura 9- Carta Solar para a latitude 32S (Pelotas)
Fonte: *Analysis* SOL-AR, LABEEE, 2009.

Nessa Carta Solar pode-se observar a grande incidência de radiação solar no verão em Pelotas, chegando a 14 horas de exposição solar no solstício de verão, quando a radiação solar incide das 5 às 19 horas do dia. Já no solstício de inverno a incidência ocorre das 7 às 17 horas, totalizando apenas 10 horas de exposição solar.

A Fig. 10 apresenta o diagrama de radiações solares em planos verticais e horizontais para Pelotas, onde é possível observar-se claramente como a incidência de radiação solar no plano horizontal é consideravelmente menor no período do inverno do que no verão, e como, no inverno, a radiação solar é mais elevada na orientação norte.

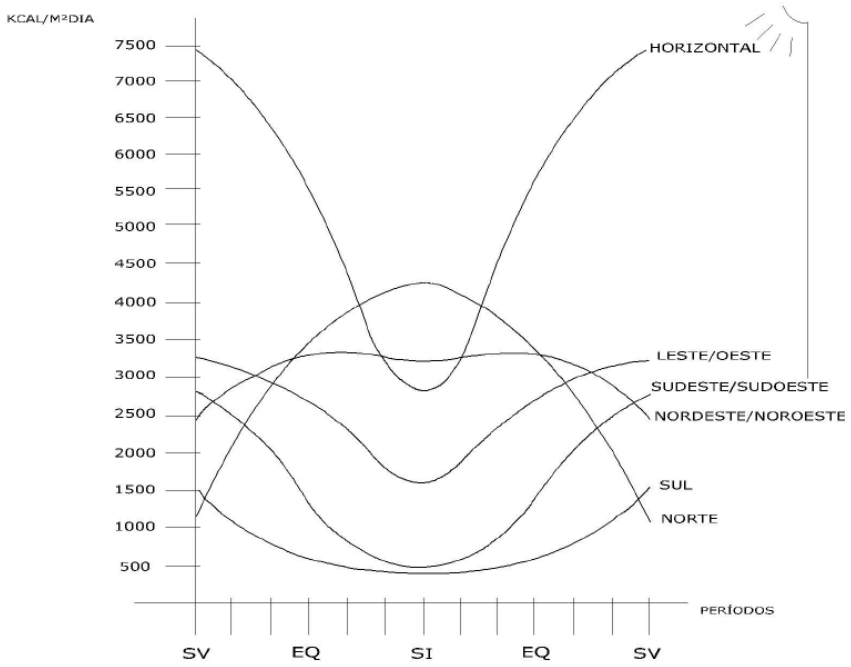


Figura 10- Diagrama de Radiações Solares em Planos Verticais e Horizontais em Kcal/m²dia
Fonte: Adaptado de PRIETTO, 1987.

4. MÉTODO

O método empregado nessa dissertação combinou ferramentas de análise de insolação e critérios de definição do objeto de estudo: as praças analisadas.

De forma introdutória, esclarece-se que a análise das condições de insolação em diferentes modelos de praças voltadas para diferentes orientações foi desenvolvida através da utilização da ferramenta do envelope solar invertido. O envelope solar invertido foi gerado a partir de simulação computacional através do software Rhinoceros 3D e os aplicativos Diva e Grasshopper.

A definição dos modelos genéricos de praças estudadas resultou do mapeamento e análise das praças existentes na cidade, seguida de uma definição das características mais recorrentes entre elas, utilizados para a criação de modelos genéricos de praças, representativas da realidade.

A delimitação de quais as morfologias que priorizam o acesso solar nos espaços livres públicos no período de inverno em Pelotas foi realizada através da análise do envelope solar resultante e do desenho geométrico. O desenho geométrico foi feito através do software *Sketch UP,* com a importação do volume do envelope solar gerado e a medição das máximas alturas permitidas por cada envelope, na fronteira das praças, de acordo com os diferentes gabaritos de vias e a presença ou não de recuo de ajardinamento.

A verificação da adequação dos índices urbanísticos propostos no plano diretor municipal em relação às condições de insolação nos espaços livres deu-se através da compatibilização entre os índices de altura do Plano Diretor de Pelotas e os resultados das máximas alturas permitidas pelos envelopes solares obtidas através das simulações.

A figura 11 caracteriza as etapas do método e as ferramentas utilizadas em cada uma delas.

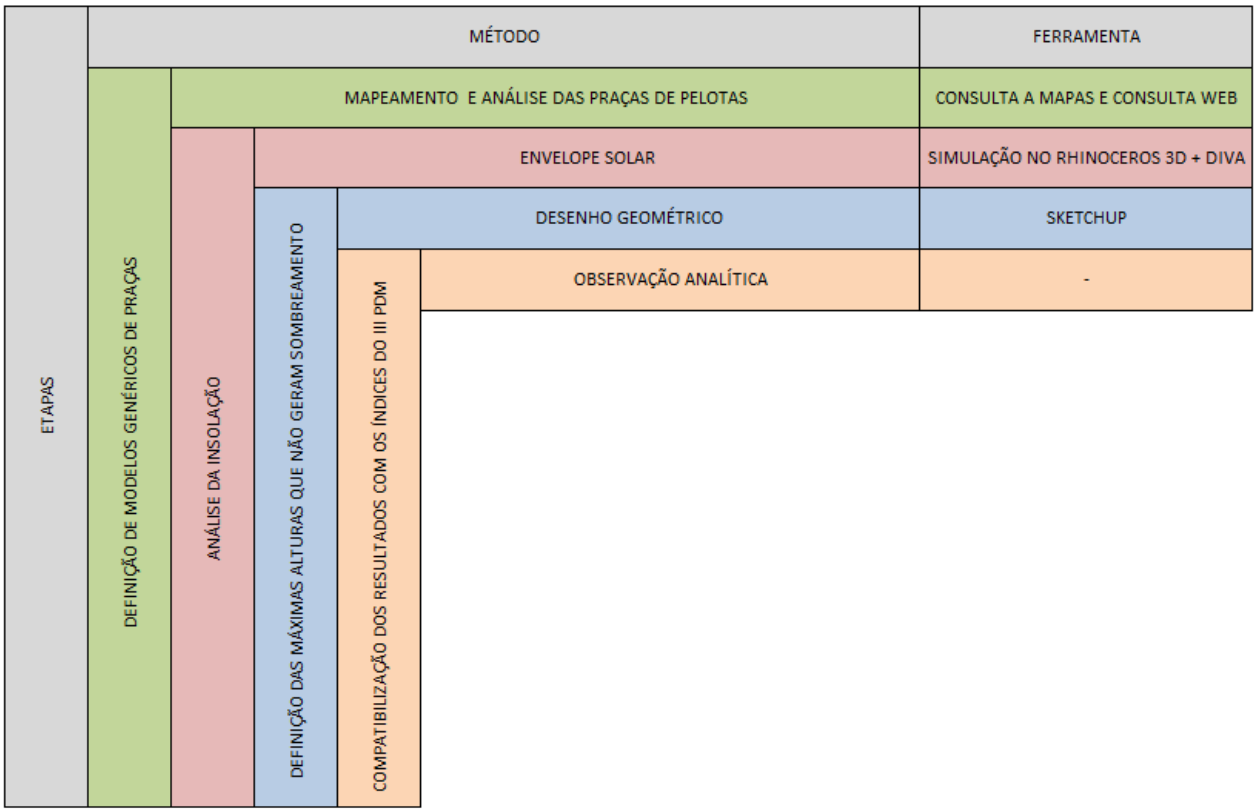


Figura 11- Caracterização das etapas do método.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Apresentam-se a seguir as diversas etapas procedimentais e metodológicas que nortearam o desenvolvimento deste trabalho.

4.1. Critérios de definição das Praças de Estudo

4.1.1. Mapeamento Análise Morfológica das Praças de Pelotas/RS

O mapeamento das praças utilizou o Mapa Temático das Áreas Especiais de Interesse do Ambiente Natural elaborado pela Prefeitura de Pelotas em dezembro de 2008 (Fig.12). Validou-se essa informação através da observação visual feita através dos programas informáticos Google Earth e Google Street View, numa tentativa de identificação de quais áreas seriam praças e quais seriam áreas verdes ou vazios urbanos.

Foi necessário fazer o mapeamento, pois ao se buscar essa informação nos órgãos responsáveis contatou-se que não existe um levantamento oficial das praças existentes.

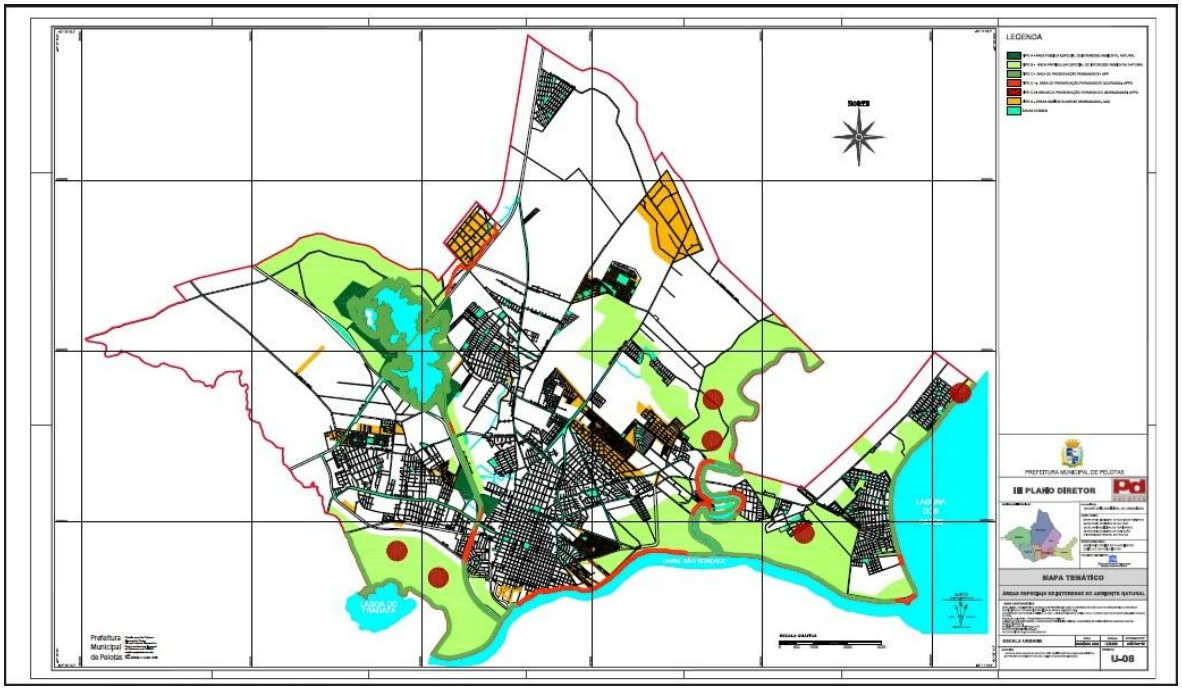


Figura 12- Mapa Temático das Áreas Especiais de Interesse do Ambiente Natural do município de Pelotas/RS.

Fonte: Prefeitura Municipal de Pelotas – Secretaria Municipal de Urbanismo, 2008.

As praças foram mapeadas, listadas e analisadas. Foram encontradas 68 praças no município (Fig. 13). A análise resultou na caracterização das praças quanto ao seu formato, tamanho e inserção no tecido urbano.

Em relação a inserção no tecido urbano, foi adotado a denominação Isolada quando a praça ocupa toda a quadra, e Incorporada quando ocupa apenas parte dela.

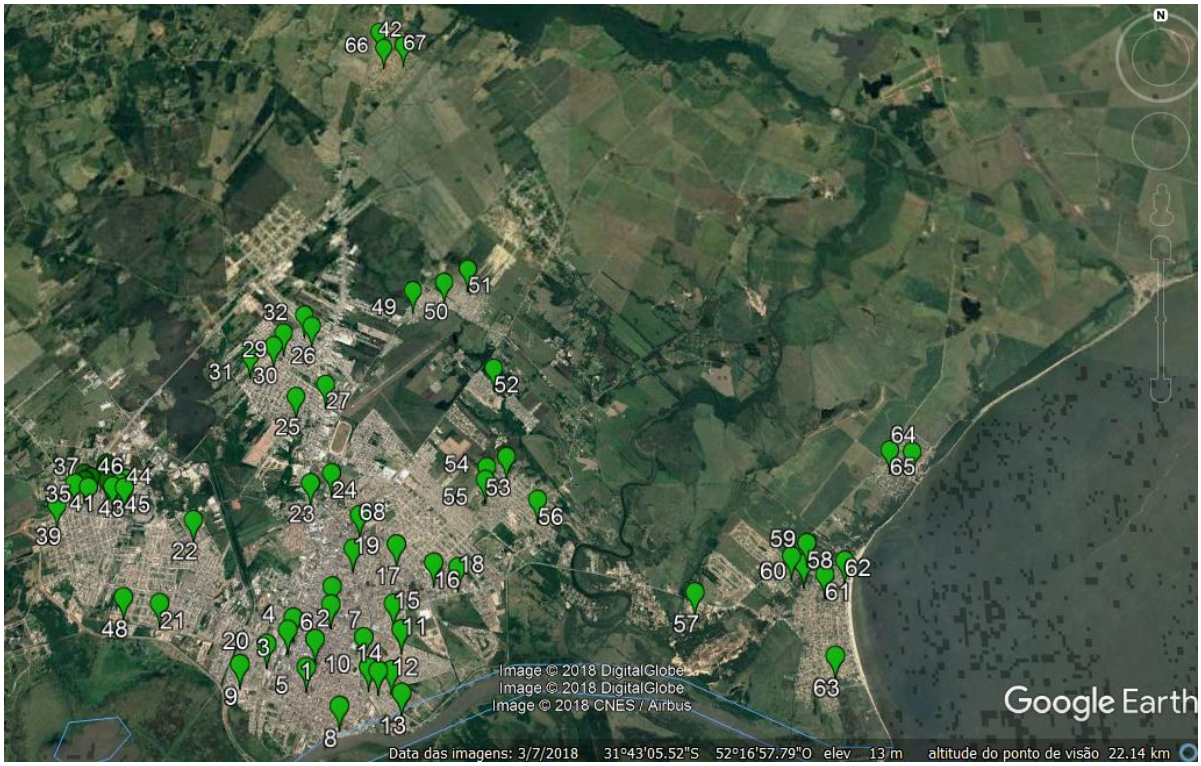


Figura 13- Levantamento e localização das praças do município de Pelotas/RS.
Fonte: *Google Earth* modificado pela autora, 2018.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados das análises realizadas.

PRAÇAS DO MUNICÍPIO DE PELOTAS/RS					
Número	Nome	Formato	Área (m²)	Inserção	Localização
1	Praça Coronel Pedro Osório	Quadrada	22.613,49	Isolada	Entre as ruas Marechal Floriano/ Princesa Isabel e Lobo da Costa e ruas XV de Novembro e Félix da Cunha
2	Parque Dom Antônio Zattera	Quadrada	35.814,76	Isolada	Entre a rua Doutor Amarante e avenida Bento Gonçalves e ruas Andrade Neves e Padre Anchieta
3	Praça Cypriano Barcelos	Quadrada	14.412,59	Incorporada	Entre as ruas Marechal Floriano e Lobo da Costa e rua Barão de Santa Tecla
4	Praça Piratinino de Almeida	Quadrada	9.079,89	Isolada	Entre as ruas General Neto e Sete de Setembro e ruas Santos Dumont e Barão de Santa Tecla

Tabela 3- Levantamento e análise das praças do município de Pelotas/RS.
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Número	Nome	Formato	Área (m²)	Inserção	Localização
5	Praça Conselheiro Maciel	Retangular	1.100,88	Incorporada	Entre as ruas Padre Anchieta e Félix da Cunha e rua Três de Maio
6	Praça José Bonifácio	Retangular	5.433,83	Isolada	Entre as ruas Senador mendonça e Praça José Bonifácio e ruas XV de Novembro e Félix da Cunha
7	-	Trapezoidal	3.407,75	Isolada	Entre a rua Doutor Calero e avenida Olavo Afonso Alves e avenida Presidente Juscelino K. de Oliveira e rua Professora Ernestina Mursa
8	Praça Domingos Rodrigues	Retangular	7.128,24	Isolada	Entre as ruas Almirante Tamandaré e Conde de Porto Alegre e ruas Dona Mariana Eufrásia da Silveira e Francisco Xavier Ferreira
9	Índio da Costa	Setor Circular	10.088,63	Isolada	Entre as avenidas Visconde da Graça e Viscondessa da Graça e a rua Doutor Ubirajara
10	Largo Reverendo Severo	Triangular	1.413,67	Isolada	Entre as avenidas Artur de Souza Costa e Cidade de Rio Grande e avenida Presidente Juscelino K. de Oliveira
11	-	Trapezoidal	11.303,48	Isolada	Entre as ruas Lázaro Zamenhoff e Olavo Rolim Moraes e avenida Artur de Souza Costa e rua Professor Oswaldo de Pinho Louzada
12	Praça Nova República	Retangular	7.468,61	Incorporada	Entre as ruas Praça Nova República e Pedro Machado Fiho e avenida Cidade de Rio Grande
13	-	Trapezoidal	1.895,09	Incorporada	Na rua Paulo Guilayn entre a rua João Thomas Munhoz e a Estrada do Engenho
14	-	Triangular	1.396,98	Isolada	Entre as ruas PS 5 e PS 6 e rua PS 7
15	-	Triangular	1.884,71	Isolada	Entre as ruas Marques de Maricá e Barros Cassal e rua Tristão de Alencar

Tabela 3- Levantamento e análise das praças do município de Pelotas/RS.
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Número	Nome	Formato	Área (m²)	Inserção	Localização
16	Praça Liberdade	Retangular	2.995,34	Isolada	Entre as ruas Guararapes e Francisco Moreira e a avenida da Paz
17	Praça Leocádia	Triangular	4.930,50	Isolada	Entre as ruas General Câmara e Miguel Meirelles e rua Doutor Cláudio M. da Costa
18	-	Trapezoidal	18.883,92	Incorporada	Entre a rua Antônio J. Dias e avenida Ferreira Viana e rua Paul Harris e avenida República
19	Largo Antônio Gomes da Silva	Retangular	1.867,31	Isolada	Entre as ruas José Pinto Martins e Rafael Pinto Bandeira e rua Padre Anchieta
20	Praça Rio Branco	Quadrada	4.200,10	Incorporada	Rua Marcílio Dias esquina com rua Dom Pedro II (Largo Portugal)
21	-	Trapezoidal	5.185,74	Isolada	Entre a rua Ulysses Batinga e avenida Imperador Prdro I e ruas Osvaldo Cruz e Gervásio Alves Pereira
22	Praça Nossa Senhora Aparecida	Retangular	2.144,57	Incorporada	Rua Dirceu de A. Martins entre as ruas Doutor Arnaldo da S. Ferreira e Lindolfo Malaquias de Borba
23	Praça 1º de Maio (do Colono)	Triangular	3.494,67	Isolada	Entre a rua Marcílio Dias e avenida Fernando Osório e a rua Pedro Moacyr
24	Praça Modelo	Triangular	2.478,99	Isolada	Entre as ruas Professor Paulo Marcant Gonçalves e Doutor Nunes Vieira e rua Zola Amaro
25	Praça Santa Cecília	Retangular	1.465,43	Isolada	Entre as ruas São Miguel e São José e rua Santa Cecília
26	-	Triangular	1.857,20	Incorporada	Entre as ruas José Rizzolo e Ernani Osmar Blaas
27	Praça Rachel Mello	Triangular	2.429,45	Isolada	Entre as avenidas Fernando Osório e Doutor Augusto Simões Lopes

Tabela 3- Levantamento e análise das praças do município de Pelotas/RS.
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Número	Nome	Formato	Área (m²)	Inserção	Localização
28	-	Retangular	307,50	Isolada	Na rua Cinco Loteamento Jacarandá esquina com a rua Um Loteamento Jacarandá
29	Praça Basilio da Gama	Retangular	11.661,23	Isolada	Entre as ruas Doutor Roamano e Plácido de Castro e ruas Paça Basílio da Gama e São Luiz
30	-	Retangular	8.423,39	Incorporada	Entre as ruas Marquês de Olinda e Raul Pompéia e rua São Luiz
31	-	Retangular	24.585,25	Incorporada	Entre as ruas Luigi Scattolin e Otto Fassbender Filho e rua dos Açores
32	-	Retangular	31.269,68	Incorporada	Entre as ruas Rizzolo e Ernani Osmar Blaas e ruas Doutor José Corrêa e Oswaldo Barbosa
33	-	Retangular	3.702,91	Isolada	Entre as ruas Anoar Mizette e Victorino Patzer e ruas PS Doutor Oswaldo Mascarenhas de Souza e PS 26
34	-	Retangular	2.294,18	Isolada	Entre as ruas Dois Loteamento Jacarandá e Quatro Loteamento Jacarandá e ruas Três Loteamento Jacarandá e Um Loteamneto Jacarandá
35	-	Retangular	3.270,51	Isolada	Entre as ruas Carmem Miranda e Francisco de Moraes Alves e ruas PS 20 e PS 24
36	-	Retangular	3.639,72	Isolada	Entre as ruas Túlio Fontoura e Ver. Osmar R. de Pinho e ruas PS 12 e Maurício Martins Villar
37	-	Retangular	4.437,00	Isolada	Entre as ruas PS Eva Moura Carapina e PS Bons Amigos e ruas Doutor SylvioFrederico Brauner e Willy Humberto Mecking

Tabela 3- Levantamento e análise das praças do município de Pelotas/RS.
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Número	Nome	Formato	Área (m²)	Inserção	Localização
38	-	Retangular	12.875,39	Isolada	Entre as ruas Victorino Patzer e Carmem Miranda e ruas Isaias E. de Oliveira e Atahualpa Gonçalves Dias
39	-	Circular	5.500,15	Isolada	Entre as ruas Emilio Ribes e Gomes Maia e rua Manoel G. Costa
40	-	Retangular	3.686,98	Isolada	Entre as ruas Professor Romeu C. Lima e Sátiro S. Carriconde e ruas PS 46 e PS 50
41	-	Retangular	3.714,54	Isolada	Entre as ruas Teté e Carmem Miranda e ruas PS 44 e PS 48
42	-	Retangular	7.765,85	Isolada	Entre as ruas 13 e Henrique C. de Moraes e ruas Edmundo da F. Gastal e Desp. Neifre Marques
43	-	Retangular	3.602,38	Isolada	Entre as ruas Professor Romeu C. Lima e PS José de M. Tissot e ruas Paulo Simões Lopes e Alberto Bento
44	-	Retangular	3.660,47	Isolada	Entre as ruas Professor Romeu C. Lima e Sátiro S. Carriconde e ruas Carlos Sica e PS 60
45	-	Retangular	41.63,50	Isolada	Entre as e ruas PS 21 e PS 29 e ruas Carlos Sica e Antero M. Leivas
46	-	Retangular	12.936,30	Isolada	Entre as ruas Sátiro S. Carriconde e Carmem Miranda e ruas Paulo Simões Lopes e Alberto Bento
47	-	Retangular	18.453,44	Incorporada	Entre as ruas Severo Pacheco e Carmem Miranda e rua Fernando Braga
48	-	Irregular	1.683,38	Incorporada	Na rua Francisco Simões encontro com a avenida Imperador Pedro I

Tabela 3- Levantamento e análise das praças do município de Pelotas/RS.
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Número	Nome	Formato	Área (m²)	Inserção	Localização
49	-	Retangular	8.249,87	Incorporada	Entre as ruas João Adão Fagundes e Três Ncl Res Antonio Manoel Pestano e ruas 17 e Doutor Raulino Cardoso
50	-	Triangular	12.751,44	Incorporada	Entre as ruas Ildo Dallmann e 26 e rua 28
51	-	Retangular	56.602,23	Incorporada	Entre as ruas 20 Ltm Getúlio Vargas e 04 Ltm Getúlio Vargas e ruas 7 e 04
52	-	Triangular	7.929,94	Incorporada	Entre a rua Doutor Francisco Antunes Júnior e avenida Professor Agustin Agapito Franco e a avenida Pery Ribas
53	-	Quadrada	9.792,02	Isolada	Entre as ruas Iseu Barbosa Prat e Doutor Vicente Martins Leal e rua Luis Alves Pereira
54	-	Trapezoidal	15.209,86	Incorporada	Entre as ruas Doutor Francisco R. da Silva e Professor Jaime Soares Oliveira
55	-	Trapezoidal	23.239,77	Incorporada	Entre as ruas Professor Joaquim A. da Fonseca e Mário Lopes Motta
56	-	Retangular	5.528,10	Incorporada	Entre as ruas Bueno da Silva e Alfredo Pujol e ruas Raposo Tavares e Matias Cardoso
57	-	Irregular	8.838,69	Incorporada	Rua Gilda M. C. Meyer Russomano
58	-	Quadrada	7.925,34	Isolada	Entre a rua Arroio Grande e avenida José Maria da Fontoura e ruas Livramento e Dom Pedrito
59	-	Triangular	8.039,06	Incorporada	Entre as ruas Jacob Elias Bainy e Irmã Amabile
60	-	Triangular	3.047,90	Isolada	Entre as ruas Tapes e São Gabriel e rua Horizontina

Tabela 3- Levantamento e análise das praças do município de Pelotas/RS.
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Número	Nome	Formato	Área (m²)	Inserção	Localização
61	Praça São Marcos	Quadrada	7.167,65	Isolada	Entre as ruas São José do Norte e PR São Marcos e ruas Canoas e Novo Hamburgo
62	-	Triangular	5.886,96	Isolada	Entre as ruas PR São Jerônimo e rua São Borja e avenida Doutor Antônio Augusto de Assumpção Junior
63	-	Triangular	5.313,38	Isolada	Entre as ruas Morro Redondo e Vinte e Nove- Bal Valverde e rua Triunfo
64	Praça Aratiba	Irregular	14.993,00	Incorporada	Entre a rua Praça Aratiba e avenida Mato Grosso
65	Praça Catuipe	Setor Circular	3.359,83	Isolada	Entre a rua Praça Catuipe e avenida Amazonas
66	Praça Ronna	Triangular	15.938,02	Incorporada	Entre a rua Agrônomo Guido Kaster e avenida 4 VL Princesa e rua 18
67	-	Retangular	8.065,99	Isolada	Entre as ruas João Jacinto Mendoça de Souza e Professor Rubens G. Moreira e ruas Henrique C. de Moraes e 15
68	-	Triangular	5.024,20	Isolada	Entre as avenidas Dom Joaquim e Dr. Figueiredo Mascarenhas e rua Andrade Neves

Tabela 3- Levantamento e análise das praças do município de Pelotas/RS.
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Quanto ao formato das praças em Pelotas, observou-se que 31 delas são retangulares, 16 são triangulares, 8 são quadradas, 7 são trapezoidais, 3 possuem formato irregular, 2 possuem formato de setor circular e 1 é circular. O Gráfico 1 apresenta, através de percentuais, a grande prevalência das praças retangulares, seguida pelas praças triangulares.

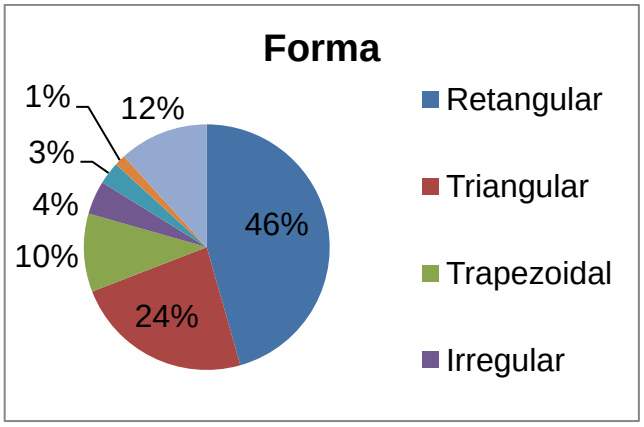


Gráfico 1- Forma das praças em Pelotas/RS.
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Em relação a sua inserção no tecido urbano, das 68 praças encontradas, 44 apresentam implantação isolada, ocupando toda a quadra, enquanto as demais, 24 delas, apresentam implantação incorporada, ocupando apenas parte da quadra. O Gráfico 2 apresenta, através de percentuais, a prevalência das praças com implantação isolada.

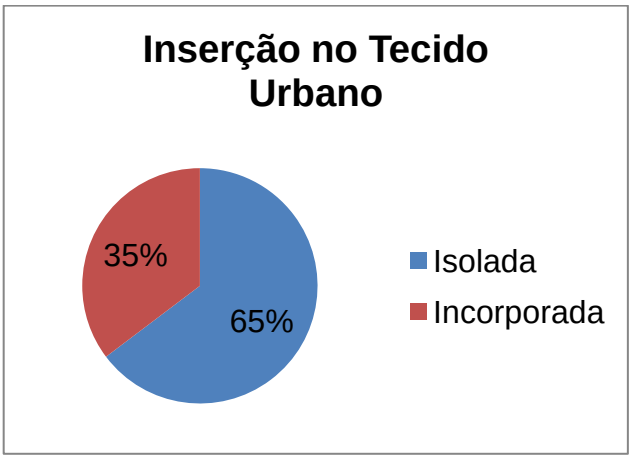


Gráfico 2- Inserção no tecido urbano das praças em Pelotas/RS
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Quanto ao tamanho, observou-se que existe uma variação muito grande nas áreas das praças, sendo que a de menor área possui 307,50 m² e a de maior área possui 56.602,23 m². Frente a essa evidência, optou-se por classificá-las por categorias relativas à sua área, praças pequenas, médias e grandes. Esses níveis foram definidos de acordo com o artigo 185 do Plano Diretor de Pelotas que estabelece que na zona urbana do município o quarteirão máximo admitido terá área

máxima de 10.000m², podendo ser admitidas exceções nas dimensões máximas para Áreas Especiais de Interesse do Ambiente Ambiental, como é o caso das praças (Tabela 4). Como as praças retangulares e triangulares são prevalentes na cidade, essa classificação foi aplicada exclusivamente às praças que apresentam esses formatos.

Categorias	Retangulares e Triangulares
Pequenas	< até 5.000 m²
Médias	< de 5.000 até 9.000 m²
Grandes	< acima de 9.000 m²

Tabela 4- Classificação por área - praças em Pelotas/RS.
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Das 47 praças que apresentam forma retangular e triangular, quanto a sua área, 25 são pequenas, 13 são médias e 9 são grandes. Pode-se observar no gráfico 3 os percentuais de prevalência das praças pequenas.

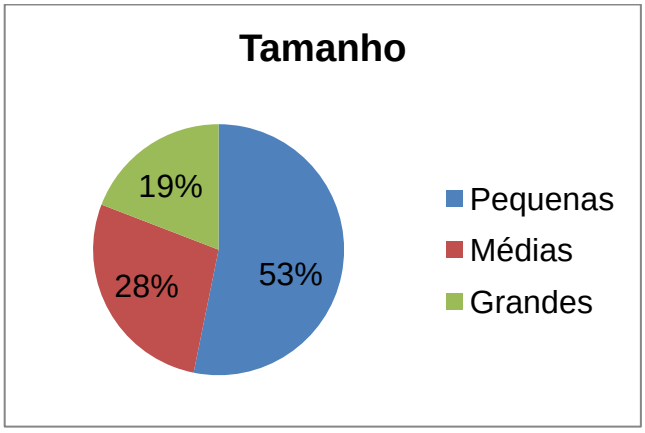


Gráfico 3- Classificação por área, das praças de forma retangular e triangular em Pelotas/RS
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Observou-se que a maioria das praças de formato retangular e triangular são implantadas de forma isolada, ou seja, ocupam todo um quarteirão, e são classificadas, por sua área, em praças pequenas, já que apresentam área igual ou inferior a 5.000 m^2. Esses resultados foram importantes para que a definição dos modelos de estudo que fossem representativos das praças de Pelotas.

4.1.2. Definição das Áreas de Estudo para a Criação dos Modelos

Os critérios para a definição das áreas de estudo dizem respeito à escolha por praças que estivessem localizadas no perímetro urbano do município e localizadas em áreas predominantemente residenciais.

Na observância desses critérios para a definição das áreas de estudo, das 68 praças levantadas inicialmente, 16 cumpriram com as premissas pré-determinadas (Tabela 5).

PRAÇAS DA CIDADE DE PELOTAS/RS (forma retangular ou triangular, pequena e isolada)				
Número	Nome	Formato	Área	Inserção
10	Largo Reverend Severo	Triangular	1.413,67	Isolada
14	-	Triangular	1.396,98	Isolada
15	-	Triangular	1.884,71	Isolada
16	Praça Liberdade	Retangular	2.995,34	Isolada
17	Praça Leocádia	Triangular	4.930,50	Isolada
24	Praça Modelo	Triangular	2.478,99	Isolada
25	Praça Santa Cecília	Retangular	1.465,43	Isolada
27	Praça Rachel Mello	Triangular	2.429,45	Isolada
33	-	Retangular	3.702,91	Isolada
35	-	Retangular	3.270,51	Isolada
36	-	Retangular	3.639,72	Isolada
37	-	Retangular	4.437,00	Isolada
40	-	Retangular	3.686,98	Isolada
41	-	Retangular	3.714,54	Isolada
43	-	Retangular	3.602,38	Isolada
44	-	Retangular	3.660,47	Isolada

Tabela 5- Praças de Pelotas/RS que atendem aos critérios de escolha definidos.
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Destas 16 que atenderam aos critérios, 8 se encontravam no mesmo bairro, distantes poucas quadras umas das outras, possuindo características bastante similares, como o formato, a área e as dimensões, podendo assim se eleger apenas algumas delas para o estudo. Elegendo-se 4 delas, de forma aleatória, o total de praças para área de estudo ficou em 12.

Das 12 praças selecionadas como áreas de estudo 6 eram retangulares (16, 25, 33, 36, 40, 41) e 6 triangulares (10, 14, 15, 17, 24, 27). Analisando-se as proporções e áreas das praças de cada formato foram extraídas informações para a definição dos modelos.

Através do cálculo da média das áreas das praças escolhidas, chegou-se às áreas para os modelos, de 3.200,00 m² de área para as praças retangulares e 2.400,00 m² para as triangulares.

Em relação às proporções, as retangulares apresentaram em sua maioria medidas entre 40 x 90 m e 40 x 60 m, e as triangulares apresentaram sua maior face variando de 70 a 130 m.

Essas áreas e proporções foram utilizadas para a definição do tamanho dos modelos de estudo.

4.1.3. Definição dos Modelos de Estudo

Os modelos de estudo foram definidos para serem representativos das praças de Pelotas, sendo assim, o seu formato e o seu tamanho foram baseados nas praças reais das áreas de estudo, como já explicitado. Chegou-se então, a dois modelos de estudo, um retangular com cerca de 3.200 m² e um triangular com cerca de 2.385 m² (Fig. 14). Eles possuem tamanhos diferentes, pois suas áreas e proporções foram baseadas às encontradas nas 12 praças reais que foram selecionadas como áreas de estudo.

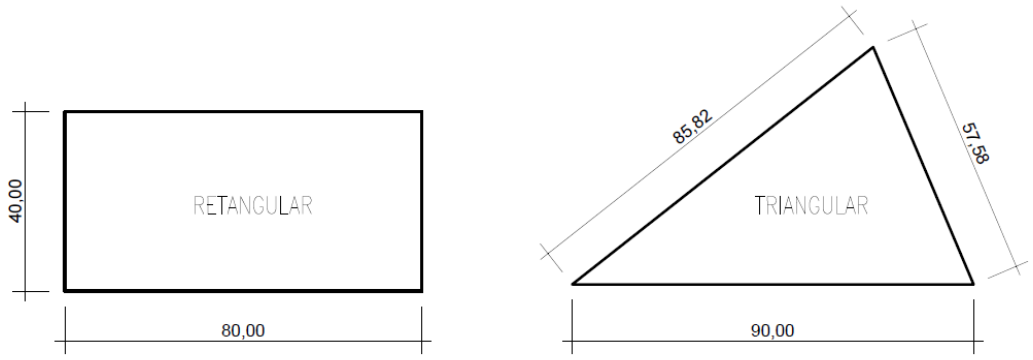


Figura 14- Modelos de Estudo.
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

4.2. Simulação dos Envelopes Solares Invertidos no *Rhinoceros 3D* com uso dos aplicativos *Grasshopper* e *DIVA*

Para a determinação do Envelope Solar invertido foi utilizado o software de modelagem tridimensional *Rhinoceros 3D*, desenvolvido pela *Robert McNeel & Associates* utilizando os aplicativos *Grasshopper* e *DIVA.*

O *Grasshopper é* um aplicativo de modelagem paramétrica para o *Rhino 3D,* e o aplicativo *DIVA*, desenvolvido inicialmente pela Escola de Graduação em Design da Universidade de Harvard e atualmente distribuído pela *Solemma LLC,* permite realizar uma série de avaliações de desempenho ambiental, entre elas o Envelope Solar invertido através do componente Solar Fan. O componente constrói o envelope a partir do sítio a ser protegido com base na sua latitude.

Para a geração dos envelopes com o componente Solar Fan é necessário configurar os parâmetros de entrada que aparecem na Figura 15, onde C se refere a Curva, uma polilinha plana fechada que define o limite do espaço exterior que requer o acesso solar direto, ou seja, o limite do sítio a ser protegido; L se refere a latitude em graus correspondente ao local de estudo; H se refere ao numero de horas de sol requeridas para o sítio estudado; F se refere a *First Frost Day,* ou seja, o numero inteiro do dia do ano que define a fase onde o acesso solar é mais necessário; e D se refere a distância do envelope, utilizado para definir a altura que o envelope terá na simulação. O F ligado ao slider escrito Breap se refere ao envelope resultante da simulação.

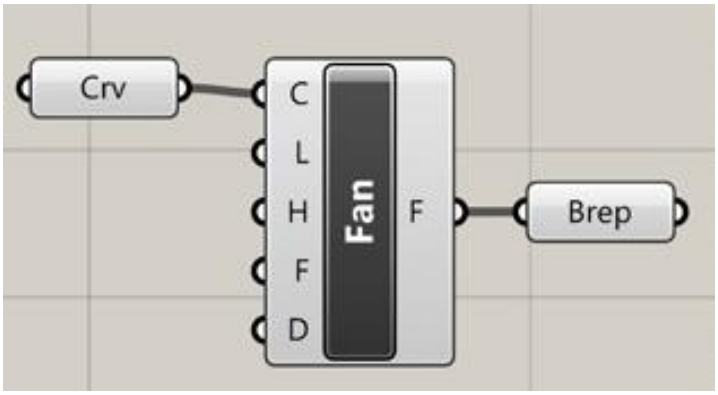


Figura 15- Parâmetros de entrada para a geração do Envelope Solar Invertido.
Fonte: DIVA4HINO, 2016.

4.2.1. Curva (C)

As curvas utilizadas foram as poligonais referentes aos modelos genéricos das praças, que são o objeto de estudo do presente trabalho.

Os modelos genéricos foram simulados com variações em relação a orientação solar. O modelo retangular foi analisado de duas formas: com o lado maior no sentido Norte/ Sul e com o lado maior no sentido Leste/ Oeste. O modelo triangular

foi analisado de quatro formas: com o lado maior para Norte, para Sul, para Leste e para Oeste (Fig. 16).

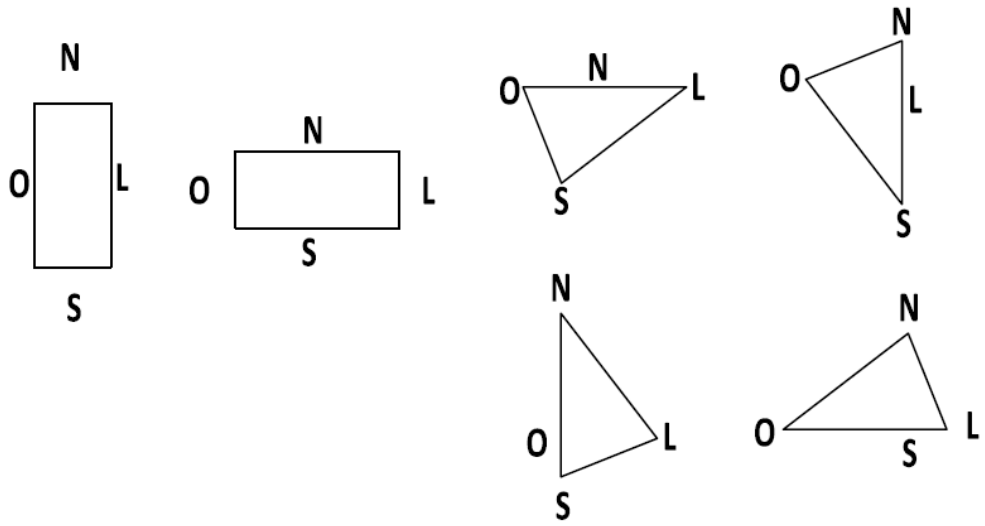


Figura 16- Orientação Solar para as Simulações.
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Os seis modelos foram denominados conforme a Figura 17 para a realização das simulações.

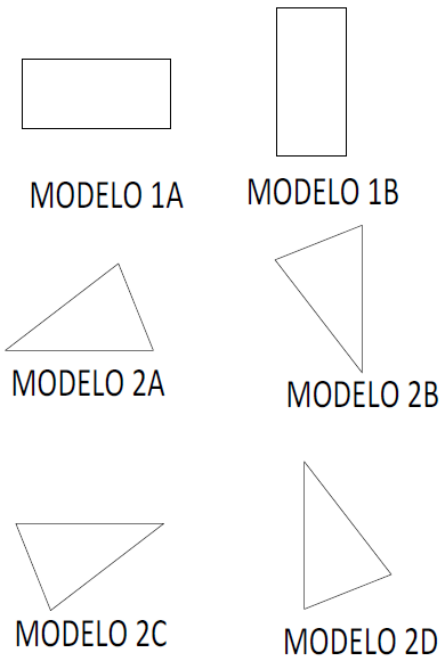


Figura 17- Denominação dos modelos para simulação.
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

4.2.2. Latitude (L)

A latitude em graus utilizada para a simulação foi a de Pelotas, de 31ºS. Cabe salientar que o slider numérico que serviu para este parâmetro teve que ser ajustado em seus limites, pois todos eles possuem limite inferior igual a zero, não aceitando valores negativos, necessários para representar as latitudes do hemisfério Sul; após o ajuste foi possível utilizar o valor de -31º.

4.2.3. Definição do número de horas de insolação e acesso solar (H)

Conforme o artigo 26 da Carta de Atenas (1933), o nível mínimo de insolação exigido para as edificações é de 2 horas por dia em pelo menos uma das fachadas do edifício.

Vianna (2017) afirma que na década de 50 foi proposto como critério a insolação de 1,5 a 2,5 horas para aproveitar o efeito bactericida do sol. Obolensky e Korzin (1982), mostraram, entretanto, que em 60% a 70% dos casos estudados, esta ação não era garantida pela insolação, o que invalidava o critério como exigência normativa. Mesmo assim, Pereira (1994), reconheceu que este período poderia cumprir com as necessidades psicológicas humanas quanto à insolação.

Knowles (1981) considerou que a garantia de 6 horas de insolação era adequada, e utilizou em seus estudos do Envelope Solar o período das 9h às 15h.

Brown e Dekay (2007) relataram que os melhores horários de insolação se concentram em torno do meio-dia e que a maioria da radiação ocorre entre as 10h e 14h.

Neste trabalho foi escolhido utilizar como padrão de insolação intervalos diferentes, de seis e quatro horas, conforme Knowles (1981) e Brown e Dekay (2007) sugerem, visando aproveitar ao máximo a radiação solar do inverno, já que nessa estação às horas de sol são reduzidas.

Ao se observar o uso das praças durante o inverno nota-se a busca pelos espaços ensolarados, principalmente nos horários próximos ao meio dia.

4.2.4. *First Frost Day* (F)

O *first frost day* se refere ao numero inteiro do dia do ano que define a fase onde o acesso solar é mais necessário, ou seja, a data mais crítica em relação a

insolação para o local estudado, que no caso desta pesquisa equivale ao dia do solstício de inverno, onde se tem a pior situação do ano em relação ao acesso solar.

O solstício de inverno no hemisfério sul acontece no dia 21 de junho, o número inteiro que representa essa data no ano é 172, porém por uma limitação do software utilizado o menor número aceito é 173, portanto foi utilizado para a simulação o valor 173 que equivale ao dia 22 de junho.

4.2.5. Distância (D)

A distância utilizada para as simulações foi de 30 m, definindo assim a altura do envelope resultante. Este valor foi adotado, pois a altura máxima permitida pelo Plano Diretor de Pelotas é de 25m, assim o envelope com 30m englobaria todas as alturas construídas possibilitadas por esse plano.

4.2.6. Envelopes Resultantes das Simulações

Após a inserção de todas as informações necessárias para as simulações no programa, foram gerados dois envelopes para cada um dos seis modelos. O primeiro relativo a um intervalo de 4 h de insolação, e o outro, para 6 h.

A Figura 18 exemplifica a interface do programa com o envelope gerado para o Modelo 1A num período de 4h de sol. O restante das figuras dos demais modelos encontra-se nos Apêndices.

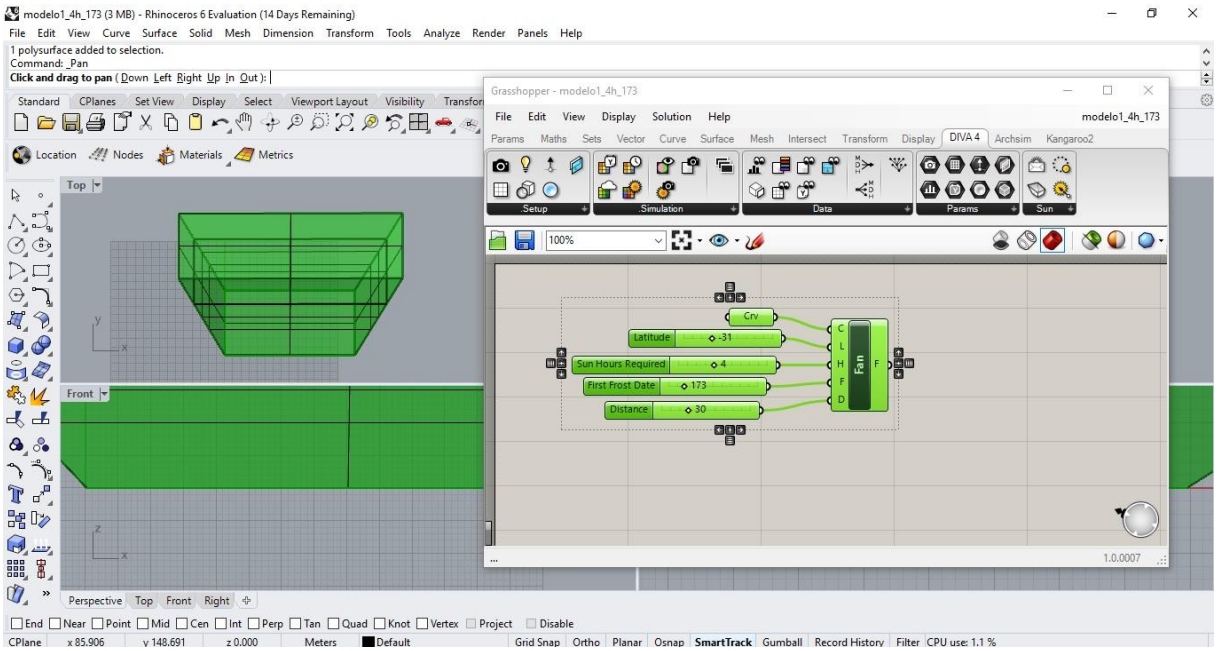


Figura 18- Envelope resultante para o modelo 1A com 4h de sol.
Fonte: Simulação gerada pela autora, 2019.

4.3. Delimitação das Alturas que Garantem o Acesso Solar

Após a geração dos envelopes solares invertidos nos programas já citados, eles foram salvos e transportados para o software *Sketch UP*, onde, no entorno de cada envelope, foram desenhados os diferentes gabaritos de via que o Plano Diretor permite: vias arteriais com 40m, coletoras com 18m e locais com 16m de largura (Fig. 19).

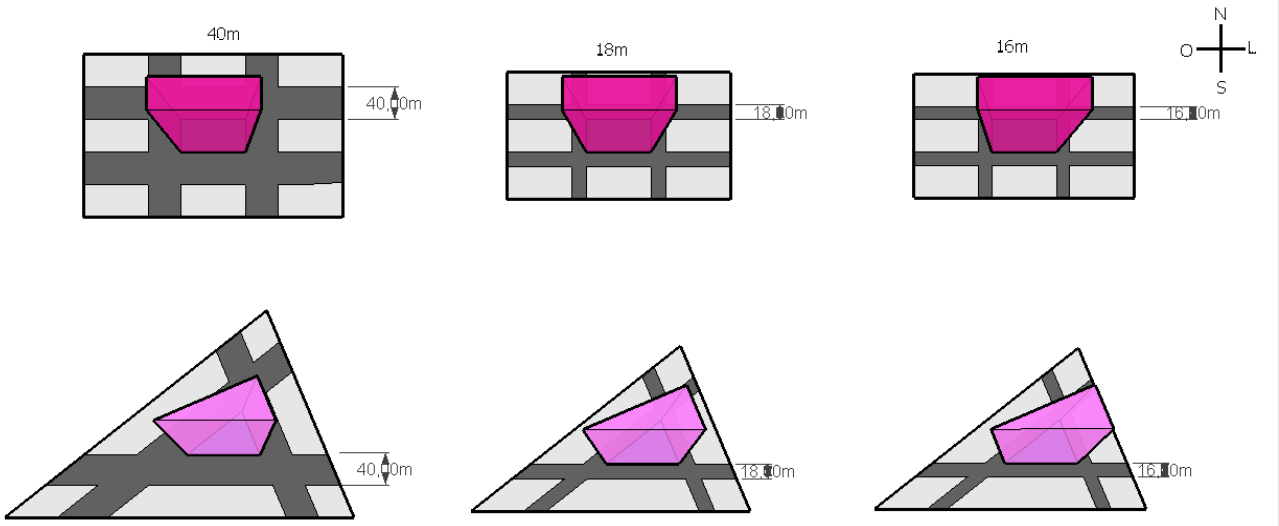


Figura 19- Exemplificação do desenho de vias de diferentes gabaritos no entorno dos envelopes.
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Depois foram acrescidos recuos de ajardinamento de 4m no entorno dessas combinações de envelopes e vias (Fig. 20).

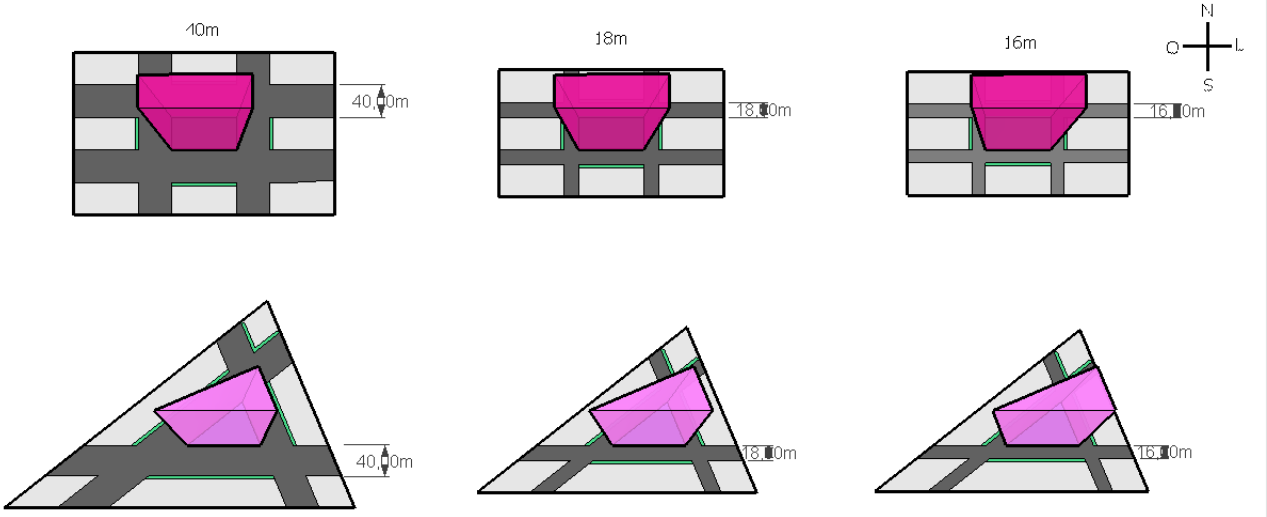


Figura 20- Exemplificação do desenho de vias de diferentes gabaritos no entorno dos envelopes com recuos.
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Procedeu-se a medição das alturas máximas possíveis (Fig. 21), para cada orientação, para cada gabarito de via, com e sem recuo, respeitando o que foi definido pelo envelope, para assim garantir o acesso solar as praças.

Figura 21- Exemplificação da medição das alturas máximas permitidas pelo envelope sem e com recuo respectivamente.
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Os dados resultantes das medições das máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento foram organizados em tabelas que os agruparam segundo os parâmetros de análise: orientação solar, período de horas de sol desejadas, gabaritos das vias da fronteira da praça e inclusão de recuo de ajardinamento.

4.4. Compatibilização dos índices de altura do Plano Diretor Municipal com os encontrados nas Análises das Simulações

Tendo delimitado que alturas garantiriam o acesso solar, foi realizada uma análise comparativa entre os índices de altura definidos pelo Plano Diretor de Pelotas (Lei 5502/08) e esses resultados, a fim de verificar se os índices vigentes estavam ou não adequados à possibilidade do acesso solar aos espaços livres públicos no inverno.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

São apresentadas as análises das máximas alturas permitidas para cada orientação, garantindo assim o acesso solar às praças e sua adequação aos índices de altura permitidos pelo Plano Diretor Municipal, para as zonas residenciais de Pelotas.

A partir dos envelopes solares gerados foi possível conhecer as máximas alturas permitidas para as fronteiras dos modelos genéricos de praças, para cada orientação, com e sem recuo de ajardinamento, em diferentes gabaritos de rua, para garantir o acesso solar.

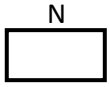
Para a equivalência entre as alturas e o número de pavimentos que podem ser construídos foram considerados andares com pés direitos de 3m de altura.

O Plano Diretor de Pelotas apresenta os seguintes índices em relação à altura:

- altura máxima de 10m em todo o perímetro urbano;
- altura de 13 m em vias com o gabarito igual ou superior a 16m, desde que o terreno possua testada superior a 12m;
- altura de 20 m em imóveis que possuam testadas iguais ou superiores a 15 m e que estejam voltados para os logradouros ou trechos citados no plano.
- altura de 25 m em imóveis que possuam testadas iguais ou superiores a 18m e que estejam voltados para os logradouros ou trechos citados no plano (todos esses trechos são avenidas, vias de gabarito largo).

Para uma melhor visualização dos resultados aqui apresentados, foram destacadas em vermelho as máximas alturas de construção nas fronteiras que permitem acesso solar às praças, inferiores aquelas permitidas pelo Plano Diretor de Pelotas. Foram destacadas na cor verde, as alturas maiores que as definidas pelo Plano, o que significa que a altura do Plano está dentro do limite da altura máxima para a garantia do acesso solar.

5.1. Modelo 1A



Para o Modelo 1A, com o lado maior voltado para a orientação norte/sul, as máximas alturas que podem ser construídas sem gerar sombreamento no modelo genérico de praça são as apresentadas na Tabela 6.

Modelo 1A- Máximas Alturas Possíveis Sem Gerar Sombreamento							
Orientação Solar	Horas de Sol	Sem Recuo			Com Recuo de 4m		
		Gabarito das Vias			Gabarito das Vias		
		40m	18m	16m	40m	18m	16m
Norte	4h	25,31m	11,38m	10,12m	27,84m	13,91m	12,65m
	6h	20,71m	9,30m	8,27m	22,78m	11,37m	10,34m
Sul	4h	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite
	6h	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite
Leste	4h	Sem Limite	18,36m	16,32m	Sem Limite	22,44m	20,40m
	6h	Sem Limite	9,57m	8,51m	Sem Limite	11,70m	10,63m
Oeste	4h	Sem Limite	18,96m	16,85m	Sem Limite	23,17m	21,07m
	6h	Sem Limite	9,89m	8,79m	Sem Limite	12,08m	10,98m

Tabela 6- Máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento e comparação com as alturas do Plano Diretor de Pelotas- Modelo 1A.
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Na fronteira sul da praça, a altura não obstrui a insolação. Isso se dá porque no inverno, aos 31º de latitude sul, o sol desenvolve uma trajetória mais curta, nascendo mais próximo da orientação nordeste e se pondo ao noroeste, não alcançando assim a orientação sul.

Na orientação norte, para um período de acesso solar de 4h, as alturas possíveis de serem construídas sem gerar sombreamento são maiores do que aquelas que permitem insolação num período de 6h. Essa diferença é de aproximadamente 5m quando o gabarito da via é de 40m, e em torno de 2m quando se trata de gabaritos de 18m e 16m. Em zonas residências, são mais frequentes as ruas de menor gabarito (ruas coletoras e locais), e a possibilidade de se construir 2m a mais não configura mais um pavimento.

Entretanto, nas orientações leste e oeste, considerar períodos de 6h de sol resulta em diminuir a altura construída à metade em relação às alturas possíveis para 4h de acesso solar, para os gabaritos de vias de 18m e 16m, as mais frequentes em zonas residenciais.

A radiação solar é maior na orientação norte, tanto em intensidade como em tempo de incidência. Essa é a razão pela qual, na fronteira norte da praça, as alturas

possíveis são sempre menores que nas outras orientações, principalmente no inverno onde o sol é mais baixo.

Para os gabaritos de vias com 18m e 16m, a altura possível na orientação norte resultou em edificações de 3 pavimentos. Por outro lado, para um gabarito de via de 40m a altura poderia ser de 8 pavimentos.

Nas orientações leste e oeste, edificações de 6 e 5 pavimentos não causariam obstrução às 4h de acesso solar nas vias de 18m e 16m respectivamente.

A inclusão de um recuo de ajardinamento de 4m possibilita maior altura, um acréscimo aproximado de 2,5m na orientação norte, o que não possibilita o acréscimo de mais um pavimento. Entretanto nas orientações leste e oeste, o recuo frontal permitiria elevar um pavimento na altura permitida.

Em relação aos índices propostos pelo Plano Diretor de Pelotas, as alturas permitidas não gerariam sombras na praça no caso de vias largas, com gabarito de 40m.

Para os gabaritos de vias de 18m e 16m, as alturas permitidas pelo plano diretor causariam obstrução ao acesso solar, num período de 4h, na orientação norte. Nesse caso, seria interessante, que na fronteira norte da praça, as alturas permitidas obedecessem à regra geral, de 10m em todo o perímetro urbano.

Foram feitos esquemas gráficos para vias de 18m ou 16m, baseados nas máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento, para garantir 4h de insolação em cada modelo que foi simulado e sem o acréscimo do recuo de ajardinamento.

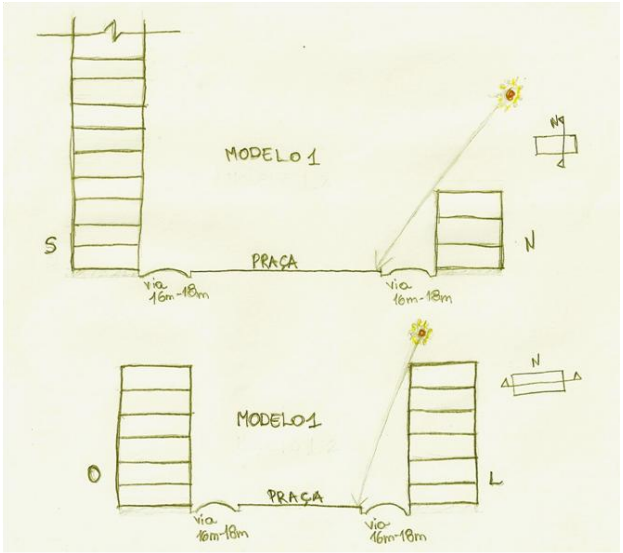
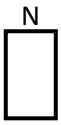


Figura 22- Esquema gráfico da configuração morfológica resultante para o modelo 1A.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

5.2. Modelo 1B



No modelo 1B, com o lado maior voltado para as orientações leste e oeste, as máximas alturas que podem ser construídas sem gerar sombreamento na praça são apresentadas na Tabela 7.

Modelo 1B- Máximas Alturas Possíveis Sem Gerar Sombreamento							
Orientação Solar	Horas de Sol	Sem Recuo			Com Recuo de 4m		
		Gabarito das Vias			Gabarito das Vias		
		40m	18m	16m	40m	18m	16m
Norte	4h	25,32m	11,39m	10,12m	27,86m	13,92m	12,65m
	6h	20,74m	9,32m	8,28m	22,82m	11,39m	10,39m
Sul	4h	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite
	6h	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite
Leste	4h	40,80m	18,36m	16,32m	44,88m	22,44m	20,40m
	6h	21,27m	9,57m	8,51m	23,40m	11,70m	10,63m
Oeste	4h	42,14m	18,96m	16,85m	46,35m	23,17m	21,07m
	6h	22,00m	9,90m	8,80m	24,20m	12,10m	11,00m

Tabela 7- Máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento e comparação com as alturas do Plano Diretor de Pelotas- Modelo 1B.
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Como já citado anteriormente, na fronteira sul da praça, a altura não obstrui a insolação.

Assim como na análise do modelo anterior (Modelo 1A), a diferença na altura que pode ser construída para garantir 4h e 6h de insolação é de aproximadamente 5m a mais para um período de 4h, quando o gabarito da via é de 40m, e em torno de 2m a mais quando se trata de gabaritos de 18m e 16m. A possibilidade de se construir 2m a mais não configura a possibilidade de mais um pavimento.

Repete-se também o fato de que nas orientações leste e oeste, considerar períodos de 6h de sol resulta em diminuir a altura construída à metade em relação às alturas possíveis para 4h de acesso solar, para os gabaritos de vias de 18m e 16m, que são as mais frequentes em zonas residenciais. Então, uma análise de

insolação para um período de 4h solares demonstra ser mais favorável a uma possível compatibilização entre altura edificada e acesso solar.

Novamente observa-se que na fronteira norte da praça, as alturas possíveis são sempre menores que nas outras orientações.

Também se mantém o fato de que para os gabaritos de vias com 18m e 16m, a altura possível na orientação norte resultou em edificações de 3 pavimentos e que para um gabarito de via de 40m a altura poderia ser de 8 pavimentos.

Nas orientações leste e oeste, edificações de 6 e 5 pavimentos não causariam obstrução às 4h de acesso solar nas vias de 18m e 16m respectivamente.

Como no Modelo 1, a inclusão de um recuo de ajardinamento de 4m possibilita maior altura, mas o acréscimo aproximado de 2,5m na orientação norte não possibilita mais um pavimento. Já nas orientações leste e oeste, o recuo frontal permitiria elevar um 1 pavimento a altura possível.

Em relação aos índices permitidos pelo Plano Diretor de Pelotas, também se mantém nesse modelo o comportamento do modelo anterior quanto ao acesso solar pleno em vias de 40m, sendo assim, as alturas permitidas não gerariam sombras na praça no caso de vias largas, como as avenidas.

E para os gabaritos de vias de 18m e 16m, as alturas permitidas pelo plano diretor causariam obstrução ao acesso solar na orientação norte. Sendo interessante novamente, que na fronteira norte da praça, as alturas permitidas obedecessem à regra geral, de 10m em todo o perímetro urbano.

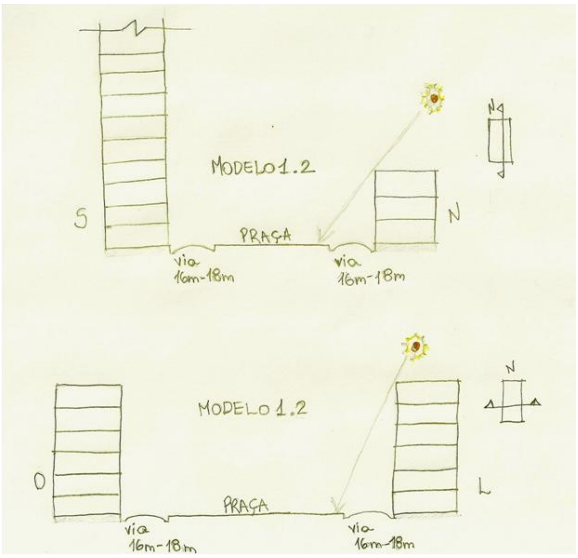


Figura 23- Esquema gráfico da configuração morfológica resultante para o modelo 1B.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

5.3. Modelo 2A

Para o Modelo 2A, de lado maior voltado para a orientação sul e as demais faces para nordeste e noroeste, as máximas alturas que podem ser construídas sem gerar sombreamento na praça são apresentadas na Tabela 8.

Modelo 2A- Máximas Alturas Possíveis Sem Gerar Sombreamento							
Orientação Solar	Horas de Sol	Sem Recuo			Com Recuo de 4m		
		Gabarito das Vias			Gabarito das Vias		
		40m	18m	16m	40m	18m	16m
Nordeste	4h	24,21m	11,83m	10,52m	26,84m	14,46m	13,15m
	6h	14,80m	7,23m	6,43m	16,40m	8,84m	8,03m
Sul	4h	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite
	6h	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite
Noroeste	4h	21,18m	9,50m	8,40m	23,38m	11,69m	10,60m
	6h	14,69m	6,59m	5,83m	16,22m	8,11m	7,35m

Tabela 8- Máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento e comparação com as alturas do Plano Diretor de Pelotas- Modelo 2A.
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Os dados apresentados permitem se observar que na fronteira sul da praça, a altura não obstrui a insolação.

As alturas permitidas para garantir o acesso solar à praça são mais elevadas. quando analisadas para um período de 4 horas, produzindo uma diferença para um período de análise de 6 horas na orientação nordeste de aproximadamente 10m quando o gabarito da via é de 40m, e em torno de 4m quando se trata dos gabaritos de 18m e 16m.

Já na orientação noroeste essa diferença é de cerca de 7m na via com gabarito de 40m, e de aproximadamente 3m nos gabaritos de 18m e 16m.

As alturas possíveis na orientação nordeste são um pouco mais elevadas do que na orientação noroeste.

Para os gabaritos de vias com 18m e 16m, as alturas possíveis na orientação nordeste resultam em edificações de 3 pavimentos, enquanto praças localizadas em

vias com gabarito de 40m, permite altura de edificação na sua fronteira nordeste de 8 pavimentos.

Na orientação noroeste, edificações de 3 e 2 pavimentos não causariam obstrução a 4h de sol para vias com gabaritos de 18m e 16m respectivamente. Para vias com gabarito de 40m, esse número sobe para 7 pavimentos.

Ao incluir o recuo de ajardinamento de 4m, possibilita-se a construção de maiores alturas, na orientação nordeste o recuo permite elevar em 1 pavimento a altura possível para os casos das vias de 18m e 16m; já para uma via de 40m ocorre o mesmo que na orientação noroeste, onde o acréscimo de aproximadamente 2m de altura não chega a possibilitar o acréscimo de mais um andar.

Tratando-se dos índices propostos pelo Plano Diretor de Pelotas, observa-se que as alturas permitidas apenas não gerariam sombreamento na orientação sul e no nordeste quando incluído o recuo frontal de 4m.

Para os demais casos as alturas permitidas pelo plano causariam obstrução ao acesso solar. Para os casos dos gabaritos de vias de 18m e 16m, que são os mais frequentes nas áreas residenciais, seria interessante que na face nordeste da praça, as alturas permitidas para a fronteira obedecessem à regra geral de 10m permitida em todo o perímetro urbano.

Já na orientação noroeste as alturas permitidas deveriam ser ainda menores para a garantia de acesso solar por pelo menos 4h.

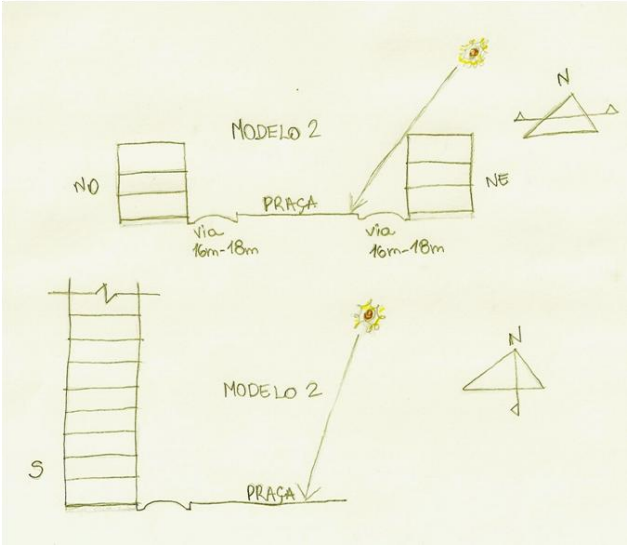


Figura 24- Esquema gráfico da configuração morfológica resultante para o modelo 2A.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

5.4. Modelo 2B

Para o Modelo 2B, com o lado maior voltado para o leste e as demais faces para noroeste e sudoeste, as máximas alturas que podem ser construídas sem gerar sombreamento na praça são apresentadas na Tabela 9.

Modelo 2B- Máximas Alturas Possíveis Sem Gerar Sombreamento							
Orientação Solar	Horas de Sol	Sem Recuo			Com Recuo de 4m		
		Gabarito das Vias			Gabarito das Vias		
		40m	18m	16m	40m	18m	16m
Noroeste	4h	20,25m	9,90m	8,80m	22,45m	12,10m	11,00m
	6h	15,16m	7,41m	6,58m	16,80m	9,05m	8,23m
Sudoeste	4h	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite
	6h	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite
Leste	4h	37,56m	18,36m	16,32m	41,64m	22,44m	20,40m
	6h	19,58m	9,57m	8,51m	21,71m	11,70m	10,63m

Tabela 9- Máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento e comparação com as alturas do Plano Diretor de Pelotas- Modelo 2B.
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Assim como acontece na fronteira sul nas praças retangulares, na fronteira sudoeste a altura não obstrui a insolação no caso deste modelo.

A diferença nas alturas possíveis para períodos de 4h e 6h de acesso solar na fronteira noroeste é de cerca de 5m a mais para insolação de 4h nas vias de 40m e aproximadamente 2m a mais para insolação por 4h, para vias de 18m e 16m.

Já na fronteira leste essa diferença sobe para cerca de 18m a mais para insolação por 4h nos casos de vias de 40m e 9m e 8m a mais para as vias de 18m e 16m respectivamente.

As alturas possíveis para a orientação leste são consideravelmente maiores do que as para a orientação noroeste.

Para o gabarito de via de 40m, a altura possível na orientação leste, resultou em edificações de 12 pavimentos, enquanto nas vias com 18m e 16m, as alturas poderiam ser de 6 e 5 pavimentos respectivamente.

Na orientação noroeste, nas vias de 40m, as alturas possíveis resultaram em edificações de 6 pavimentos, já nas vias com gabaritos de 18m e 16m, as edificações poderiam ter 3 e 2 pavimentos respectivamente.

A inclusão do recuo frontal de ajardinamento na fronteira leste permitiria elevar em 1 pavimento a altura possível. Na fronteira noroeste esse comportamento se repete nas vias com gabarito de 18m e 16m; já no caso de vias com gabarito de 40m o recuo permite um acréscimo de apenas 2m, o que não possibilita mais um andar.

Sobre os índices propostos pelo Plano Diretor de Pelotas, as alturas permitidas não gerariam sombreamento na praça, para nenhum gabarito de via, no caso das orientações leste e sudoeste.

Por outro lado, na orientação noroeste as alturas permitidas pelo Plano causariam obstrução ao acesso solar. Nesse caso nos gabaritos de 18m e 16m, que são mais frequentes nas áreas residenciais, as alturas permitidas deveriam ser ainda menores do que a regra geral de 10m em todo o perímetro urbano.

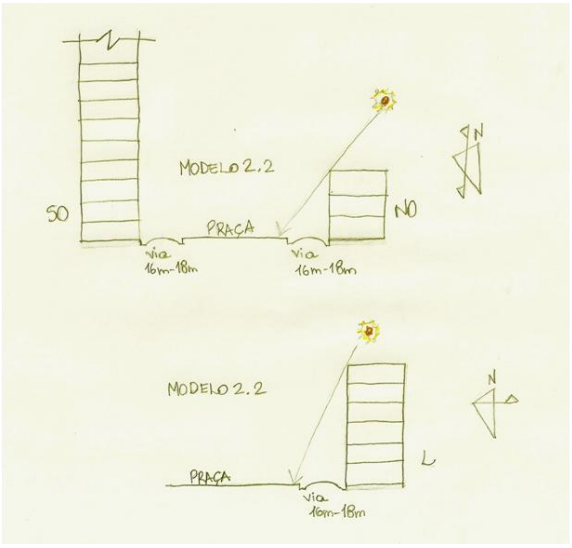
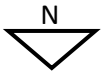


Figura 25- Esquema gráfico da configuração morfológica resultante para o modelo 2B.
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

5.5. Modelo 2C



Para o Modelo 2C, com o lado maior voltado para norte e as demais faces para sudeste e sudoeste, as máximas alturas que podem ser construídas sem gerar sombreamento na praça são apresentadas na Tabela 10.

Modelo 2C- Máximas Alturas Possíveis Sem Gerar Sombreamento							
Orientação Solar	Horas de Sol	Sem Recuo			Com Recuo de 4m		
		Gabarito das Vias			Gabarito das Vias		
		40m	18m	16m	40m	18m	16m
NORTE	4h	23,25m	11,37m	10,11m	25,78m	13,90m	12,64m
	6h	19,00m	9,28m	8,25m	21,06m	11,35m	10,32m
SUDESTE	4h	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite
	6h	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite
SUDOESTE	4h	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite
	6h	Sem Limite	19,39m	17,23m	Sem Limite	23,69m	21,54m

Tabela 10- Máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento e comparação com as alturas do Plano Diretor de Pelotas- Modelo 2C.
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Através dos dados apresentados para o Modelo 2C é possível observar que na fronteira sudeste, a altura não obstrui a insolação. Já na fronteira sudoeste, quando para 6h de sol, apenas no gabarito de via de 40m a altura não obstrui a insolação, enquanto nos gabaritos de 18m e 16m existe uma altura máxima a ser respeitada para garantir a insolação.

Na orientação norte, para um período de acesso solar de 4h, as alturas possíveis resultam ser mais elevadas do que aquelas que permitem insolação num período de 6h. Essa diferença é de aproximadamente 4m quando o gabarito da via é de 40m, e de cerca de 2m quando se trata de gabaritos de 18m e 16m.

Para o gabarito de via de 18m, a altura possível na orientação norte resultou em edificações de 3 pavimentos. Por outro lado, para um gabarito de via de 40m, altura poderia ser de 7 pavimentos.

Com a inclusão de um recuo de ajardinamento de 4m, possibilita-se maior altura, um acréscimo de cerca de 2m na orientação norte, o que não possibilita a construção de mais um pavimento.

Em relação aos índices propostos pelo Plano Diretor de Pelotas, as alturas permitidas gerariam sombras na praça, na orientação norte, para todos os gabaritos de vias. No caso das vias de 18m e 16m, que aparecem mais em áreas residenciais, seria interessante que as alturas permitidas obedecessem à regra geral, de 10m em todo o perímetro urbano.

Já nas orientações sudeste e sudoeste, as alturas permitidas não gerariam sombreamento.

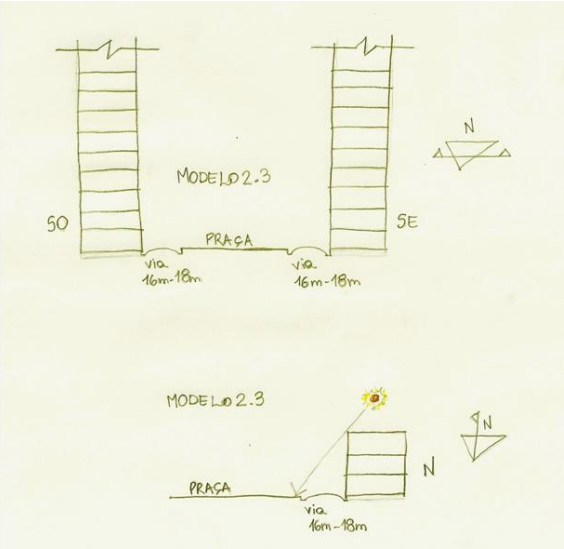


Figura 26- Esquema gráfico da configuração morfológica resultante para o modelo 2C.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

5.6. Modelo 2D

Para o Modelo 2D, com o lado maior voltado para oeste e as demais faces para nordeste e sudeste, as máximas alturas que podem ser construídas sem gerar sombreamento na praça são apresentadas na Tabela 11.

Modelo 2D- Máximas Alturas Possíveis Sem Gerar Sombreamento							
Orientação Solar	Horas de Sol	Sem Recuo			Com Recuo de 4m		
		Gabarito das Vias			Gabarito das Vias		
		40m	18m	16m	40m	18m	16m
Nordeste	4h	22,09m	9,90m	8,76m	24,37m	12,19m	11,05m
	6h	14,43m	6,47m	5,72m	15,92m	7,96m	7,22m
Sudeste	4h	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite
	6h	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite
Oeste	4h	38,79m	18,96m	16,85m	43,00m	23,17m	21,07m
	6h	20,28m	9,91m	8,81m	22,48m	12,11m	11,01m

Tabela 11- Máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento e comparação com as alturas do Plano Diretor de Pelotas- Modelo 2D.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Com resultados similares aos já apresentados para outros modelos de praça, na fronteira sudeste da praça, a altura não obstrui a insolação.

Como ocorre em todos os modelos, as alturas possíveis para um período de 4h de acesso solar, resultam ser mais elevadas do que aquelas que permitem isolação num período de 6h. A diferença, na orientação nordeste é de cerca de 8m, para o gabarito de via de 40m, e entorno de 3m para os gabaritos de 18m e 16m.

Na orientação oeste a diferença é de aproximadamente 18m no gabarito de 40m, e de cerca de 9m e 8m para os gabaritos de 18m e 16m respectivamente.

Na orientação nordeste, para o caso de gabarito de via de 40m, a altura possível resulta em edifícios de 7 pavimentos, enquanto para os gabaritos de 18m e 16m as alturas que não causam obstrução ao acesso solar são de 3 e 2 pavimentos respectivamente.

Na fronteira orientada ao leste, para o gabarito de via de 40m, edificações de 12 pavimentos não causariam obstrução a 4h de sol, e para os gabaritos de 18m e 16m, edificações de 6 e 5 pavimentos respectivamente, não causariam a obstrução.

A inclusão de um recuo de ajardinamento de 4m permite maior altura, na orientação oeste, um acréscimo de aproximadamente 5m, o que permite mais um pavimento, para todos os gabaritos de vias. Na orientação nordeste, para gabaritos de via de 18m e 16m, o recuo também possibilita a construção de mais um pavimento, enquanto no gabarito de 40m, um acréscimo de cerca de 2m, não possibilita a inserção de mais um pavimento.

Se tratando dos índices propostos pelo Plano Diretor de Pelotas, as alturas permitidas não gerariam sombras na praça no caso das orientações oeste e sudeste.

Já na orientação nordeste as alturas permitidas pelo Plano causariam obstrução ao acesso solar. Nesse caso nos gabaritos de 18m e 16m, que são mais frequentes nas áreas residenciais, as alturas permitidas deveriam ser ainda menores do que a regra geral de 10m em todo o perímetro urbano.

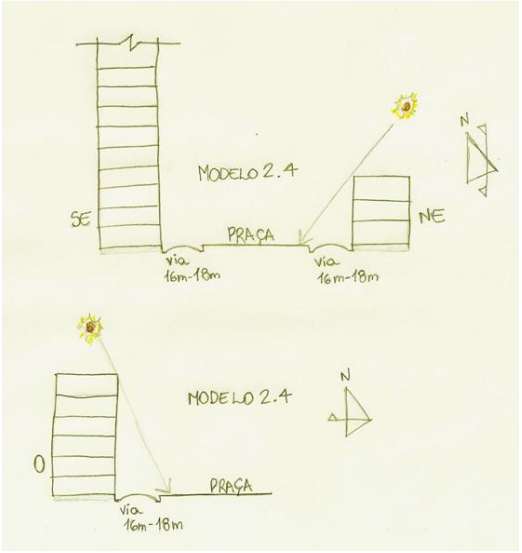


Figura 27- Esquema gráfico da configuração morfológica resultante para o modelo 2D.
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

As tabelas com os resultados separados para 4h e 6h de sol são apresentadas nos Apêndices.

5.7. Síntese dos Resultados

No inverno a cidade de Pelotas/RS apresenta o total de apenas 10h de exposição solar, garantir 4h de insolação demonstra ser mais favorável a uma possível compatibilização entre altura edificada e acesso solar.

Sobre a influência que os gabaritos das vias têm sobre as máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento, as vias com gabarito de 40m permitem construção de maiores alturas, por serem mais largas. As vias de 18m e 16m, que são as mais comuns nas zonas residenciais, permitem a construção de alturas menores que o gabarito de 40 m. Sendo assim, o gabarito da via no entorno das praças pode influenciar diretamente nas alturas que poderão ser construídas sem impedir o acesso solar e deve ser considerado nas regras de conformação volumétrica que garantam a insolação.

O acréscimo do recuo de ajardinamento de 4m pode ou não representar uma diferença benéfica na máxima altura possível de ser construída sem gerar sombreamento. Quando permite a construção de mais um pavimento, o recuo traz um benefício em relação à altura, o que acontece sempre nas orientações leste e oeste nos modelos estudados. Porém, na maioria das análises feitas o recuo não

possibilitou mais um andar ou não fez diferença, como nas orientações sul, sudeste e sudoeste. Sendo assim, a vantagem da inserção de recuo de ajardinamento em relação à altura deve ser avaliada para cada caso, levando-se em conta a orientação solar.

Através dos esquemas gráficos apresentados é possível observar de maneira mais clara as diferentes configurações morfológicas resultantes do conjunto das fronteiras da praça.

Um dos fatores que exerce maior influência nas máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento é a orientação solar.

Na fronteira norte da praça, as alturas possíveis, aquelas que não causam obstrução, são sempre menores que nas outras orientações. Esse fato se dá porque a radiação solar no inverno é maior na orientação norte, aos 31º de latitude sul, tanto em intensidade como em tempo de incidência. Nas fronteiras nordeste e noroeste o comportamento é praticamente o mesmo que a fronteira norte.

Nas fronteiras leste e oeste as alturas possíveis são maiores, chegado a quase o dobro, que as da orientação norte, mas são menores do que as da orientação sul.

Na fronteira sul da praça, a altura não obstrui a insolação, permitindo que não exista um limite de altura. Isso se dá porque no inverno, aos 31º de latitude sul, o sol desenvolve uma trajetória mais curta, nascendo mais próximo da orientação nordeste e se pondo ao noroeste, não alcançando assim a orientação sul. Nas fronteiras sudeste e sudoeste o comportamento é o mesmo da fronteira sul.

Sendo assim, observa-se que a configuração morfológica resultante da aplicação do Envelope Solar no conjunto das fronteiras das praças apresenta semelhanças, independente da forma da praça, pela similaridade das alturas para cada orientação. Porém, apesar das semelhanças, através das tabelas contata-se que para as praças retangulares, 4h de sol é viável para todos os gabaritos de vias, já 6h de sol não é viável em nenhum caso, já para as praças triangulares, 4h de sol é viável em apenas alguns casos e 6h de sol também não é viável em nenhum caso.

O Plano Diretor de Pelotas prevê, em suas regras, que nas ruas com gabaritos menores deve-se construir menores alturas, demonstrando assim certa adequação aos aspectos analisados. Porém, o fato de não considerar a necessidade de diferentes alturas para as diferentes orientações solares, como alturas menores na orientação norte, por exemplo, e não apresentar regras específicas para o entorno

dos espaços livres públicos, demonstra a necessidade de uma adequação visando à garantia do acesso solar a esses espaços no inverno.

6. CONCLUSÕES

A presente pesquisa teve como objetivo geral analisar as condições de insolação nos espaços livres públicos a partir do estudo da forma edificada em sua fronteira, como consequência das regras urbanas de conformações volumétricas, para modelos de praças genéricas em áreas urbanas de caráter residencial, da cidade de Pelotas, aos 31º de latitude sul.

Foram definidos requisitos para a avaliação das condições de insolação, ou de acesso solar aos espaços livres públicos com o intuito de potencializar o seu uso durante o período de inverno, quando a radiação solar é condição de apropriação das praças pelos usuários.

A escolha dos métodos, baseada na análise da literatura e em estudos previamente desenvolvidos, combinou ferramentas de análise de insolação – o Envelope Solar invertido, com critérios de definição do objeto de estudo: as praças analisadas. O Envelope Solar invertido foi gerado a partir de simulação computacional com o uso do software *Rhinoceros 3D* e os aplicativos *Diva* e *Grasshopper*. A definição dos modelos genéricos de praças resultou das características mais recorrentes nas praças da cidade, representativas da realidade.

A delimitação de quais as morfologias que priorizam o acesso solar aos espaços livres públicos no período de inverno em Pelotas foi produto dos envelopes solares e do desenho geométrico, desenvolvidos para diferentes parâmetros, como forma da praça, orientação solar, gabarito das vias no seu entorno, e possibilidade de recuo de ajardinamento.

Esse estudo confirmou que o fator mais relevante e que exerce maior influência e maiores diferenças na morfologia urbana que garante a insolação nas praças no inverno, através das máximas alturas possíveis de serem construídas sem gerar sombreamento, é a orientação solar.

Na fronteira norte das praças as alturas são sempre menores que nas demais orientações e as fronteiras nordeste e noroeste apresentam comportamento muito similar. Já nas fronteiras sul, sudeste e sudoeste, a altura não obstrui a insolação, conforme esperado devido a inexistente insolação, permitindo assim que não exista um limite de altura, ou seja, as alturas são sempre maiores que nas demais orientações.

Nas fronteiras leste e oeste as alturas possíveis são maiores, chegado a quase ao dobro daquelas da orientação norte, mas são menores que as da orientação sul.

Um segundo fator a ser considerado são os gabaritos das ruas no entorno da praça. Gabaritos de vias menores permitem alturas menores. A diferença de altura do gabarito de 40m para os gabaritos de 18m e 16m pode ser considerável, sendo assim, o gabarito da via no entorno das praças influencia diretamente nas alturas que poderão ser construídas sem impedir o acesso solar e deve ser considerado nas regras de conformação volumétrica que garanta a insolação.

O recuo de ajardinamento de 4m demonstrou não ser muito relevante quando se trata das máximas alturas que podem ser construídas sem gerar sombreamento na praça. Apenas nas orientações leste e oeste o seu acréscimo foi garantia da adição de mais um pavimento, enquanto em outras orientações não houve grande variação, resultando que na maior parte dos casos não permitiu mais um andar, ou não fez diferença. Dessa forma, quando se tratando da altura, inserir ou não o recuo deve ser avaliado para cada caso, considerando a orientação solar e o gabarito da via.

Em relação aos diferentes modelos, observou-se que as diferentes formas, apesar de apresentarem diferenças pequenas, estas são significativas. Para a forma retangular ter 4h de sol é viável em todos os gabaritos de via e 6h de sol não é viável em nenhum dos casos. Enquanto para a forma triangular ter 4h de sol é viável apenas em alguns casos e 6h de sol também não é viável em nenhum caso. As diferenças na forma geram diferentes configurações morfológicas resultantes do conjunto das fronteiras da praça, entre os dois modelos.

Quanto a voltar os modelos para diferentes orientações, no modelo de praça retangular, quando orientado com o lado maior voltado para norte/sul ou para leste/oeste as alturas para o acesso solar são diferentes nas diferentes fronteiras para avenidas largas. Para as vias usuais em áreas residenciais, as máximas alturas permitidas são as mesmas, sendo assim a configuração morfológica resultante do conjunto das fronteiras da praça é praticamente a mesma, independente de qual orientação o modelo está voltado. Por outro lado, no modelo triangular, voltar o lado maior para norte, sul, leste ou oeste gera maiores diferenças de altura das fronteiras, gerando assim distintas configurações morfológicas resultantes do conjunto das fronteiras da praça, para cada orientação que o modelo de praça triangular está voltado.

Através das análises chega-se a conclusão de que a forma também é um fator relevante quando se trata das máximas alturas possíveis de serem construídas sem gerar sombreamento para cada orientação, portanto também deve ser considerado.

Quanto à adequação dos índices urbanísticos propostos no Plano Diretor de Pelotas em relação às condições de insolação nos espaços livres, observou-se que para o período de 4h de insolação, que demonstra ser mais favorável a uma possível compatibilização entre altura edificada e acesso solar nas praças, os índices, em boa parte dos casos, estão adequados. Entretanto, apesar de já prever que em vias com gabaritos menores deve-se construir alturas menores, o que é benéfico, o Plano não apresenta regras específicas para as fronteiras dos espaços livres públicos, como as praças, e também não considera as diferentes orientações e suas características. Dessa forma, os índices se apresentam inadequados para a orientação norte, onde a radiação solar no inverno, aos 31º de latitude sul, é maior tanto em intensidade como em tempo de incidência e, portanto deveria ser a orientação priorizada em relação ao acesso solar, demonstrando assim uma necessidade de readequação dos índices do Plano Diretor em relação às condições de insolação nos espaços livres.

Com base nas análises feitas, chega-se à conclusão de que devem haver regras de conformações volumétricas específicas, para as zonas residenciais de Pelotas/RS, que priorizem a radiação solar nos espaços livres públicos no inverno, através da revisão ou adaptação da legislação urbanística em vigor.

Como sugestões de regras diferenciadas para o entorno das praças nas zonas residenciais, deve-se definir máximas alturas que poderão ser construídas de forma a garantir pelo menos 4h de insolação, que leve em consideração principalmente a orientação solar e o gabarito da via. Na fronteira norte da praça, para as vias com gabarito de 18m ou 16m as máximas alturas deveriam sempre respeitar a regra geral já existente no Plano, de 10m de altura em todo o perímetro urbano.

Quanto a viabilidade do método Envelope Solar invertido como instrumento de determinação de índices de altura de edificações, que considerem a possibilidade de insolação em espaços livres, verificou-se que a geração dos envelopes solares invertidos através do programa *Rhinoceros* e dos aplicativos *Diva* e *Grasshopper* é simples e rápida, embora exija conhecimentos prévios de ferramentas de modelagem. O trabalho demonstrou que o método é eficiente e pode ser aplicado para a adequação e definição dos índices urbanísticos que garantam a insolação

nos espaços livres públicos no inverno. Contudo, é importante observar critérios como o número de horas de sol desejadas, a inserção da latitude correta e a data na qual o acesso solar é necessário, buscando a adequação do método às necessidades do local de estudo.

Como contribuição desse trabalho de pesquisa, busca-se permitir que novos loteamentos e áreas de expansão da cidade, na criação dos espaços livres, considerem a desobstrução nas fronteiras das praças, principalmente da fronteira norte para permitir o acesso da radiação solar à praça no período de inverno. Essa observação não é só indicada para a área edificada na fronteira do espaço livre público, mas também para a disposição da vegetação e posicionamento das árvores mais frondosas que devem ser localizadas na parte sul da praça.

6.1. Limitações do Trabalho

Esse estudo apresentou algumas limitações que são aqui apresentadas.

As análises de acesso solar aos espaços livres públicos foram desenvolvidas em modelos genéricos de praças, não trabalhou com a realidade (estudos de caso reais), então as conclusões se referem a esses modelos, que são baseados nas características mais recorrentes das praças reais, mas não abarcam toda a diversidade existente.

Além disso, consideraram-se os planos horizontais das praças totalmente desobstruídos, quando na verdade, praças apresentam massas de vegetação, mobiliários urbanos e elementos construídos que acabam por influenciar nas condições de insolação das mesmas.

O método Envelope Solar invertido também apresenta limitações, pois a análise de insolação é feita para um dia específico, num intervalo de tempo determinado, no caso do presente estudo, no solstício de inverno e para um determinado número de horas de insolação.

Outra limitação encontrada foi que o software, utilizado para gerar os envelopes, é pago, de difícil acesso para estudantes universitários, sendo necessário utilizar a versão de avaliação, com dias limitados, em diversos computadores diferentes.

6.2. Sugestões para Trabalhos Futuros

Este trabalho de dissertação cumpriu com seus objetivos, concluindo que a morfologia da fronteira das praças pode sim impedir o acesso solar no inverno, em

algumas orientações, sendo necessária uma adequação das regras urbanas de conformações volumétricas em Pelotas/RS, principalmente nas zonas residenciais, priorizando e assegurando a radiação solar nas praças no inverno. Assim, outras pesquisas poderão ser realizadas a partir daqui, contribuindo para que as praças tenham assegurado à garantia do acesso solar no inverno e visando a proteção no verão.

Sugere-se como pesquisas futuras:

Estudar o desempenho térmico dos modelos genéricos de praças, de maneira dinâmica, considerando todas as estações do ano e a morfologia para a fronteira resultante deste estudo.

Estudar o posicionamento das massas de vegetação nas praças, no sentido de garantir acesso da radiação solar no inverno e proteção solar no verão.

7. REFERÊNCIAS

ABUCHAIM, M. R. **Plano Diretor e Sustentabilidade Urbana: O III Plano Diretor de Pelotas, Lei 5502/08 Tomo I.** Dissertação. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2012.

AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION. ***Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders***. Washington DC: APA, 2014.

AMORIM, N. C. R. **O sistema de espaços livres na forma urbana de Patos de Minas.** Dissertação. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e Design, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2015.

ASSIS, E. S. de; SOUZA, R.V.G.; RAMOS, J.G.L.; COIMBRA, V.B.C.; COSTA, S.A.P. **Integração do conceito de envelope solar na legislação urbana para economia de energia no setor residencial.** In II CONGRESSO BRASILEIRO DE

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, Vitória, 2007. *Anais*...Vitória: ABEE, 2007. 1-8.

BAEK, J. H.; KIM, J. S.; HUH, I.; LEE, K.; PARQUE, J. H.; PARQUE, T.; HA, K.; HONG, K. S. **Prevalence, behavioral manifestations and associated individual and climatic factors of seasonality in the Korean general population.** ***Comprehensive Psychiatry***, [S.l.], v. 57, p. 148-154, 2015.

BATISTA, R. U.; ROSSI, A. M. G. Morfologia no contexto da Sustentabilidade Urbana. In: **IV SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA/ I ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA URBANA. Anais...** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
BRASIL. Estatuto da cidade: Lei 10.257/2001. Brasília, Câmara dos Deputados, 2001, 1a Edição.

BROWN, G. Z.; DEKAY, M. **Sol, Vento e Luz (recurso eletrônico). Estratégias para o projeto de Arquitetura.** 2 a edição – Dados eletrônicos. Porto Alegre: Bookman, 2007.

CALDEIRA, J. M. **A praça brasileira. Trajetória de um espaço urbano: origem e modernidade.** Tese. Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2007.

CAMPOS, G. A. C.; JÚNIOR, E. F. C. **O sombreamento causado pelos edifícios altos em Curitiba.** Cadernos de Arquitetura e Urbanismo . v.22, n.30, 2ºsem. 2015

CANAN F.; TOSUNLAR M. B. **The Implementation of Sustainable Approaches in the Architectural Design Studio Developing Architectural Designs Using the**

Solar Envelope Method. ICONARP- International Journal of Architecture and Planning. v.4, Issue 1, p. 14-33, 2016.

CAPELUTO, G.; YEZIORO, A.; BLEIBERG, T.; SHAVIV, E. ***From computer models to simple design tools: solar rights in the design of urban streets*****.** Ninth International IBPSA Conference. Montreal. Canadá.2005.

CAPELUTO, G.; SHAVIV, E. ***Modeling the design of Urban fabric with Solar Rights considerations, Solar Energy,*** Israel Institute of Technology, Haifa, Israel, v.70, Issue 3, p. 275-280, 2001.

CARMONA, M; MAGALHÃES, C.; HAMMOND, L. **Public Spaces: The Management Dimension.** Abingdon: Routledge, 2008.

CIAM. Carta de Atenas, Atenas: 1933.

COSTA, M. I. M. M. **Cidade e desenho de luz/sombra**. Dissertação. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2008.

De LUCA, F. **Solar Envelope Optimization Method for Complex Urban Environments.** CAADence in Architecture – Proceedings of the International Conference on Computer Aided Architectural Design, Budapest, Hungary, 16th-17th June 2016. Edited by Mihaly Szoboszlai, Department of Architectural Representation, Faculty of Architecture, Budapest University of Technology and Economics. Ed. 2, p. 195-202. Budapeste, 2016.

DUFFY, J. F; CZEISLER, C. A. ***Effect of light on human circadian physiology.*** US National Library of Medicine National Institutes of Health. Sleep Med Clin. 2009 Jun. 4(2): 165-177.NHPA Manuscripts. Disponível em: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2717723/?report=classic.Acesso em: 10/02/2015

FURLAN, K.V.; CARVALHO, C. R.; CARTANA, R. P. **Avaliação da isolação e distribuição da radiação solar no ambiente urbano de Balneário Camboriú.** VIII Seminário Internacional de Investigación em Urbanismo. Balneário Camboriú. 2016.

GONZÁLEZ, F. J. N. **Arquitectura Bioclimática en un entorno sostenible.** Madri: Editora Munilla-Leria, 2004.

GUIDDINGS, B.; CHARLTON, J.; HORNE M. **Public squares in European city**. Urban Design International, Vol. 16, p. 202–212, 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **PAS - Pesquisa Anual de Serviços.** 2018.

JACOBS, J. **Morte e vida das grandes cidades.** São Paulo: Martins Fontes, 2000.

JUNIOR, E. P. S.; FERNADES, D. C.; ALMEIDA, A. T. F.; BORGES, F. A.; NOVAES, J. A. R. **Epidemiologia da Eficiência de Vitamina D.** Revista Científica do ITPAC, v.4, n.3, Pub.2, Araguaína, 2011.

KNOWLES, R. L.; BERRY, R. D. ***Solar envelope concepts: moderate density building applications.*** SERI/SP- 98155-1, Golden, Colorado. *Solar energy research institute*. 1980.

KNOWLES, R. L. ***Energy and Form – An Ecological Approach to Urban Growth***. The Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 1974.

KNOWLES, R. L. **Sun Rhythm Form.** MIT Press, Cambridge, MA, 1981.

KNOWLES, R. L. **The solar envelope: its meaning for energy and buildings.** Energy and buildings, Los Angeles. v.35, p. 15-25, 2003 Elsevier Science B.V.

KRAFTA, K. **Notas de aula de morfologia urbana.** Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2014.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES, LABEEE. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. **Analysis Sol-ar**. Versão 6.2. 2009b. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-sol-ar>.

LAMAS, J. M. G. **Morfologia urbana e desenho da cidade**. 12. ed. Lisboa: [s.n.], v. 1, 2009.

LECHNER, N. ***Heating, Cooling, Lighting – Design Methods for Architects****. New York: John Wiley & Sons,* 1990.

LEITE, R. C.; FROTA, A. B. Adensamento Urbano e condições ambientais internas: a influência da morfologia urbana sobre a radiação solar e o vento para o conforto no ambiente construído. In: **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUIDO. Anais...** São Paulo: 2016.

LINS, A. E. B.; SONZA, D.; ELY, V. H. M. B. **Simulações em malhas urbanas para um desenvolvimento urbano sustentável: aplicando o envelope solar.** V Encontro nacional e III Encontro Latino – Americano sobre edificações e Comunidades Sustentáveis. ELECS. Recife. 2009.

MACEDO, S. S.; QUEIROGA, E. F.; GALANDER, F. C.; CAMPOS, A. C. A.; CUSTÓDIO, C.; DEGREAS, H.; GONÇALVES, F. M. **Os sistemas de espaços livres na constituição da forma urbana contemporânea no Brasil: produção e apropriação (QUAPÁ-SEL II).** Revista Paisagem e Ambiente: ensaios nº 30. São Paulo, 2012.

MACHO, J. J. G.; DOMÍNGUEZ, S. Á.; FÉLIX, J. L. M.; VILA, R. V. **Guia Básica para el Acondicionamento de Espacios Abiertos.** Sevilla: Ciemat, 1994.

MAGNOLI, M. M. **Espaços livres e urbanização.** Tese. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1982.

MARTINS, T. A. L. **De condicionantes solares à oportunidades de desenho urbano: otimização de tipo-morfologias urbanas em contexto de clima tropical.** Tese. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2014.

MORELLO, E.; RATT, C. Sunscapes: Solar envelopes and the analysis of urban DEM. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 33, p. 26-34, 2009.

MATTOS, M. R. **Arquitetura Paisagística: Um Estudo sobre Representações e Memória – Estudo de Caso: Praças da Cidade de Pelotas – 1860-1930.** Paisagem Ambiente: ensaios. n. 23, p. 231-241. São Paulo, 2007.

MOTTA, F. L. **Desenho e emancipação.** São Paulo: FAUUSP, 1970.

NETTO, V. M.; VARGAS, J. C.; SABOYA, R. T. **(Buscando) Os efeitos da morfologia arquitetônica.** Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v.4, n. 2, p. 261-282, jul/dez. 2012.

NUCCI, J. C. **Qualidade ambiental e adensamento urbano: um estudo de ecologia e adensamento da paisagem aplicado ao distrito de Santa Cecília (MSP).** São Paulo: Humanitas/FFLCH/USP, 2012.

OBOLENSKY, N. V.; KORZIN, O. A. ***Insolation and sun control in the field of construction: the progressive ways of their normalization and regulation***. In: CIB SYMPOSIUM IN BUILDING CLIMATOLOGY, 1982, Moscou. Proceedings ..., Moscou: CIB, p. 498-520.

PATTINI , A.; CÓRICA, L.; MASCARÓ, L. A iluminação natural do recinto urbano. In: MASCARÓ, L. (Org.) **A iluminação do espaço urbano.** Porto Alegre: Editora Masquatro, 2006. p. 45-78.

PELOTAS, RS. Lei 5502/08, III Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, 2008.

PELOTAS, RS. Lei 6636/18, 2018.

PEREIRA, F. O. R. **Uma metodologia para indicações de ocupação do ambiente urbano: controle de obstrução do sol e da abóbada celeste**. 66p. Monografia para Concurso de Professor Titular – Dep. Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1994.

PEREZ, D. R. C.; FAVERO, E. **O envelope solar como critério para adensamento e verticalização no planejamento urbano.** Revista Intellectus, nº 28, volume Especial de Planejamento Urbano, 2014.

PÉREZ, D. R. C. **O envelope solar e o direito ao sol.** Dissertação. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP. Campinas, 2007.

PREMAOR, M. O.; Furlanetto, T. W; **Hipovitaminose D em Adultos: Entendendo Melhor a Apresentação de uma Velha Doença**; Arquivo Brasileiro de Endocrinologia e Metabologia. 2006.

PRIETTO, P. L. M. **Dados Climáticos de Pelotas.** Pelotas, 1987.

QUAPA-SEL. **Quadro do Paisagismo no Brasil**- Sistemas de Espaços Livres. XIII Colóquio QUAPA-SEL. Santa Maria, 2018.

QUEIROGA, E. F. **Dimensões públicas do espaço contemporâneo: resistências e transformações de territórios, paisagens e lugares urbanos brasileiros.** Tese apresentada a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo em Concurso de Títulos e Provas para a obtenção do título de Livre-Docente em Arquitetura e Urbanismo. São Paulo, 2012.

QUEIROGA, E. F.; MACEDO, S. S.; CAMPOS, A. C.; GONÇALVES, F.; GALENDER, F.; DEGREAS, H.; AKAMINE, R.; CUSTÓDIO, V. **Sistemas de espaços livres: conceitos, conflitos e paisagens.** São Paulo: FAUUSP, 2011.

RAPOPORT, A. **House form and culture (Foundations of Cultural Geography Series)**. New Jersey: Éditions Prentice Hall, v. 1, 1969. 150 p.

ROBBA, F.; MACEDO, S. S. **Praças Brasileiras.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2010.

ROMERO, M. A. B. **Arquitetura bioclimática dos espaços públicos.** Brasília: Editora da UnB, 2001.

ROMERO, M. A. B.; Da SILVEIRA, A. L. R. C. Indicadores de sustentabilidade urbana. In: **XI ENCONTRO NACIONAL ANPUR. Anais...** Salvador: 2005.

RULE, T. A. ***Solar, Wind and Land: Conflicts in renewable energy development.*** Routledge. London. 2014.

SABOYA, R. T. **Ultrajes Urbanos #4.** Blog Urbanidades, 28, maio 2010. Acessado em set. 2019. Online. Disponível em: https://urbanidades.arq.br/2010/05/28/ultrajes-urbanos-4/

SABOYA, R. T. **Fatores morfológicos da vitalidade urbana – Parte 1: Densidade de usos e pessoas.** ArchDaily Brasil, 18 nov. 2016. Acessado em out. 2017. Online. Disponível em: http://www.archdaily.com.br/br/798436/fatores-morfologicos-da-vitalidade-urbana-nil-parte-1-densidade-de-usos-e-pessoas-renato-t-de-saboya.

SCALCO, V. A.; PEREIRA, F. O. R.; RIGATTI, D. **Impacto de novas edificações na vizinhança: proposta de método para a análise das condições de iluminação natural e de insolação.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 171-187, abr./jun. 2010.

SHAVIV, E.; YEZIORO A.; CAPELUTO, G. ***Sun and winds in a new business district in Tel Aviv*****.** Seventh International IBPSA Conference. Rio de Janeiro, RJ. 2001.

SITTE, C. – ***City Planning According to Artistic Principles***. London: Phaidon Press, 1965.

SUN, A. **Projeto da Praça: Convívio e Execução no Espaço Público.** Editora Senac. São Paulo, 2008.

TREGENZA, P.; WILSON, M. ***Daylighting – Architecture and Lighting Design.*** Editora: Routledge: New York, NY. 2011.

UN- HABITAT. United Nations Human Settlements Programme. **Public Spaces for all.** 2015. Acessado em set. 2017. Online. Disponível em: https://www.pps.org/blog/public-spaces-celebrating-world-habitat-day-2015/.

VATHOLOMAIOS, A. **The residential solar block envelope: A method for enabling thedevelopment of compact urban blocks with high passive solarpotential.** Energy and Buildings, v. 99, p. 303- 312, 2015.

VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e Arquitetura**. 2ª Edição. São Paulo, SP: Geros s/c Ltda, 2001.

VIANNA, S. D. **Análise do Direito ao Sol nos planos diretores de Pelotas – RS, em zonas residenciais.** Dissertação. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2017.

APÊNDICES

APÊNDICE A

INTERFACE DO PROGRAMA COM OS ENVELOPES RESULTANTES PARA CADA MODELO

1. Modelo 1A

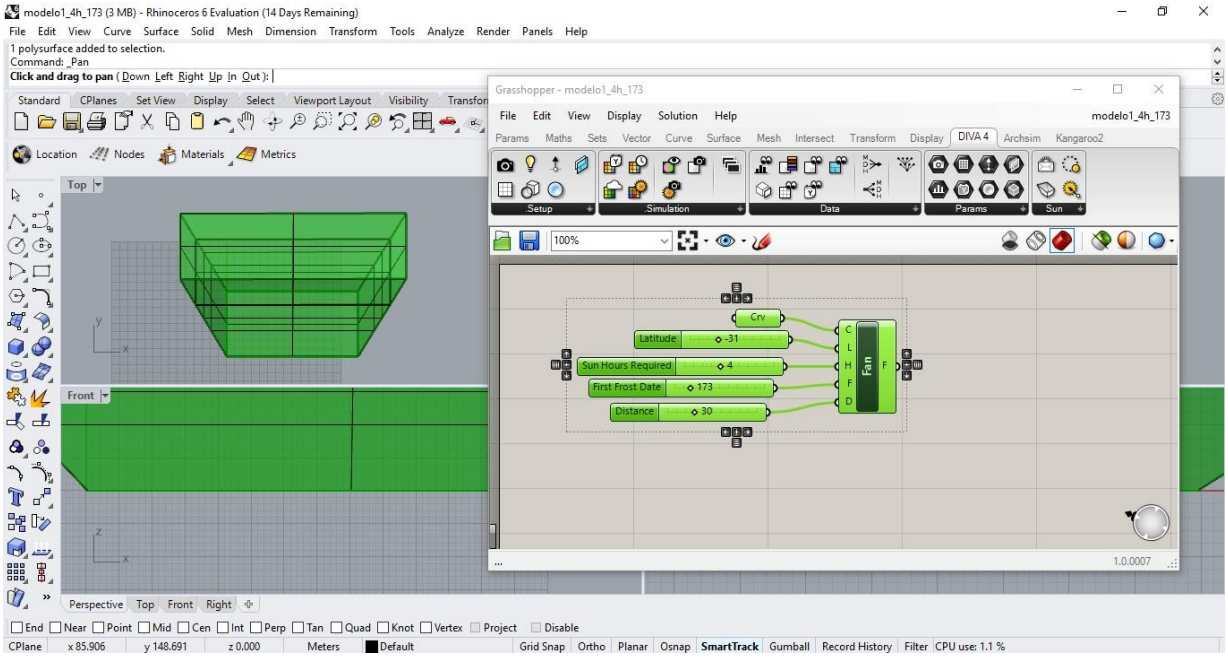


Figura 01- Envelope resultantes para o modelo 1A com 4h de sol.
Fonte: Simulação gerada pela autora, 2019.

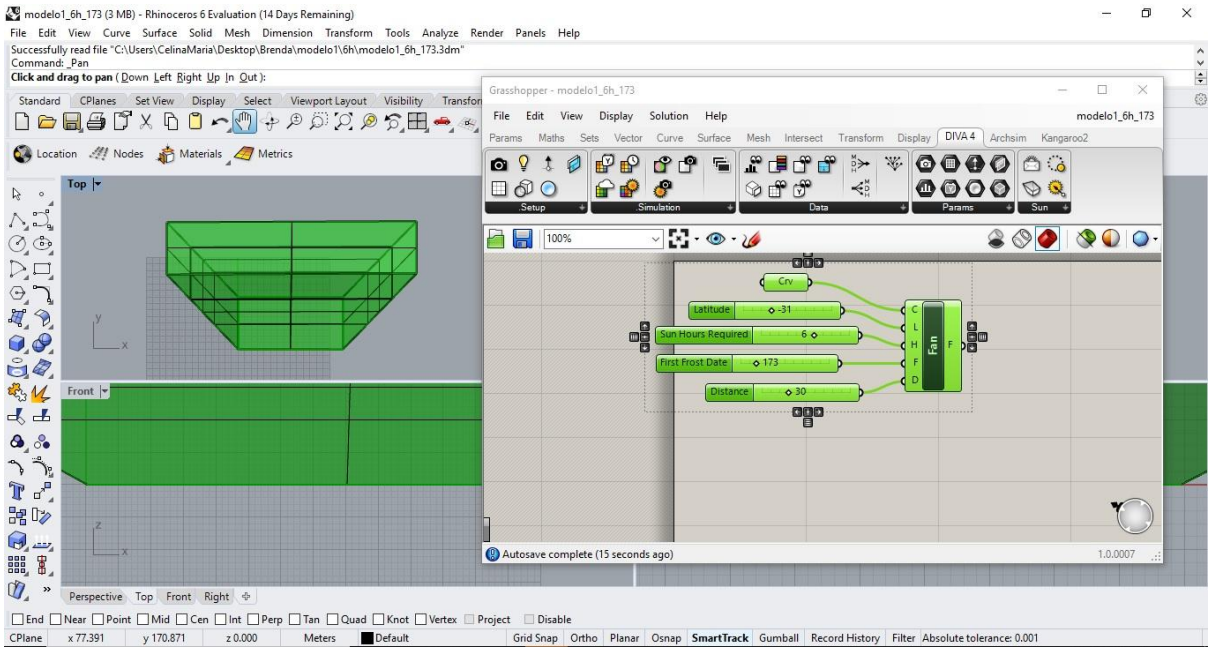


Figura 02- Envelope resultantes para o modelo 1A com 6h de sol.
Fonte: Simulação gerada pela autora, 2019.

2. Modelo 1B

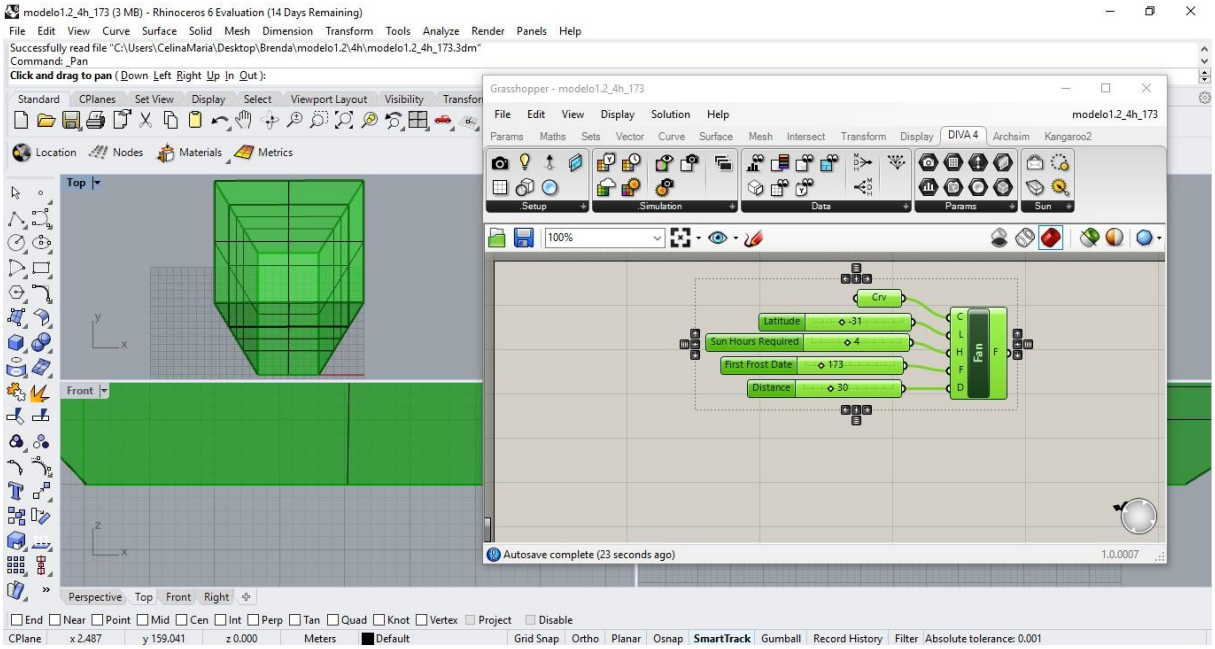


Figura 03- Envelope resultantes para o modelo 1B com 4h de sol.
Fonte: Simulação gerada pela autora, 2019.

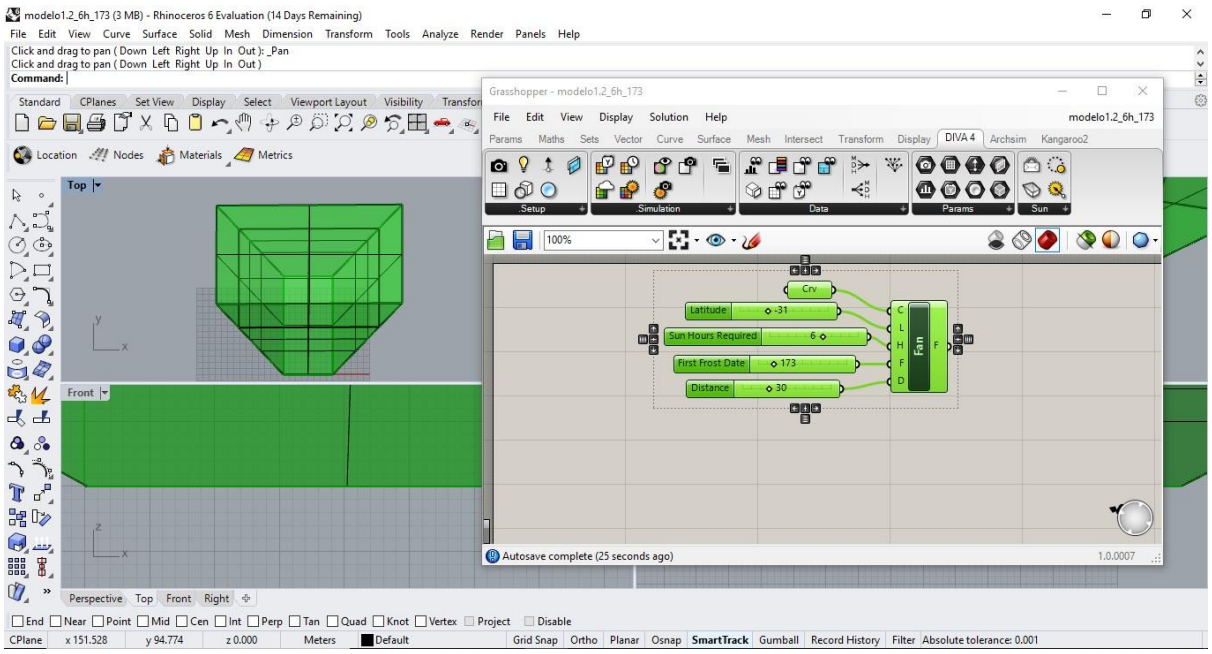


Figura 04- Envelope resultantes para o modelo 1B com 6h de sol.
Fonte: Simulação gerada pela autora, 2019.

3. Modelo 2A

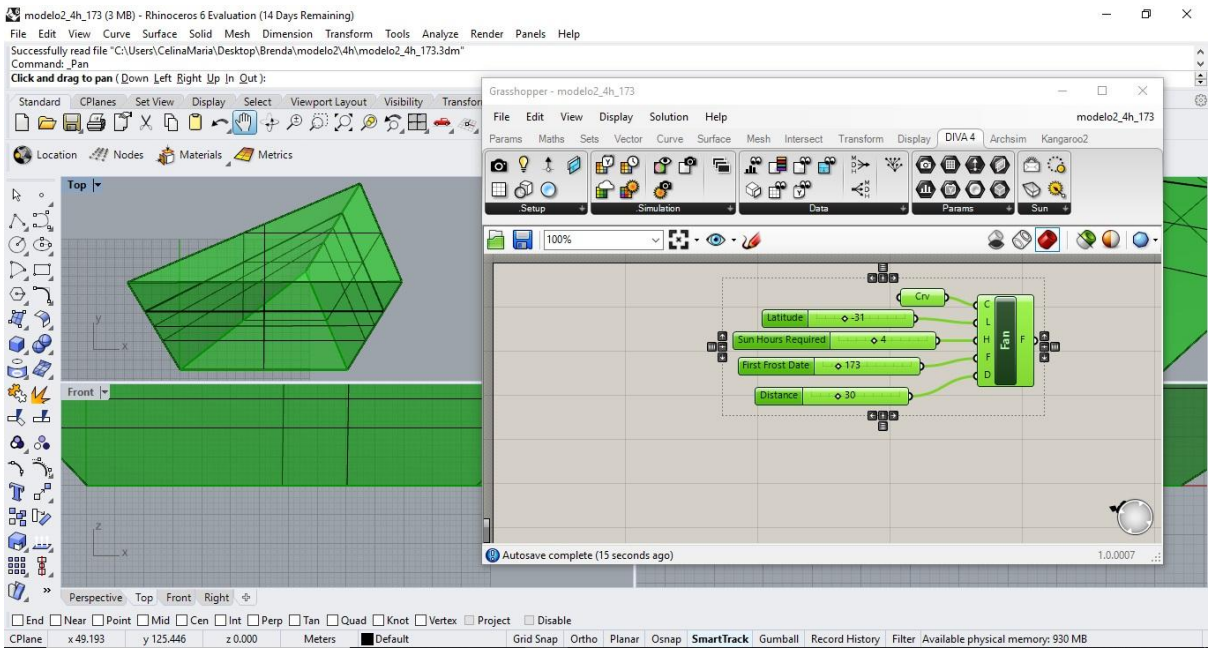


Figura 05- Envelope resultantes para o modelo 2A com 4h de sol.
Fonte: Simulação gerada pela autora, 2019.

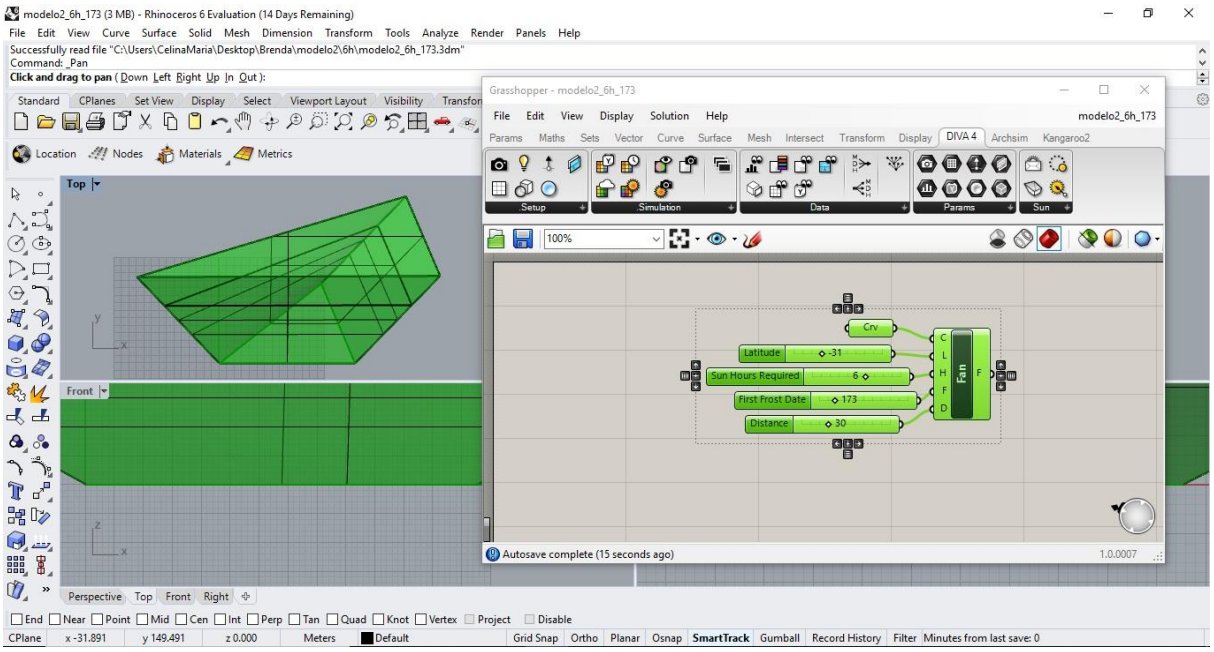


Figura 06- Envelope resultantes para o modelo 2A com 6h de sol.
Fonte: Simulação gerada pela autora, 2019.

4. Modelo 2B

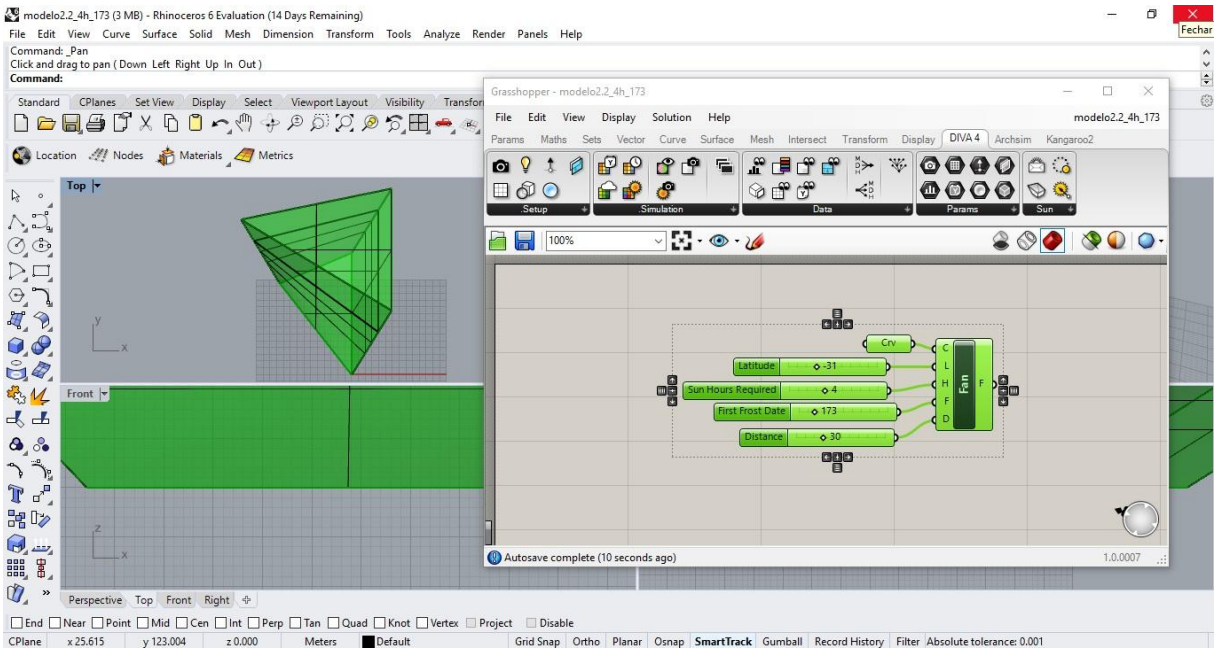


Figura 07- Envelope resultantes para o modelo 2B com 4h de sol.
Fonte: Simulação gerada pela autora, 2019.

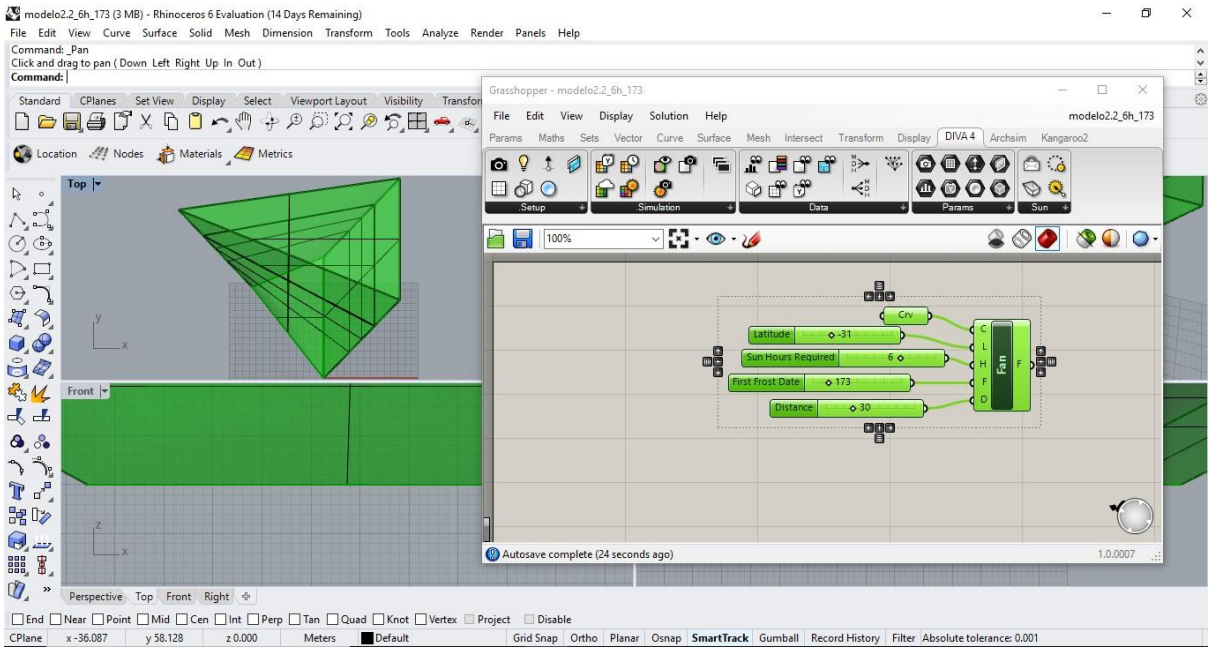


Figura 08- Envelope resultantes para o modelo 2B com 6h de sol.
Fonte: Simulação gerada pela autora, 2019.

5. Modelo 2C

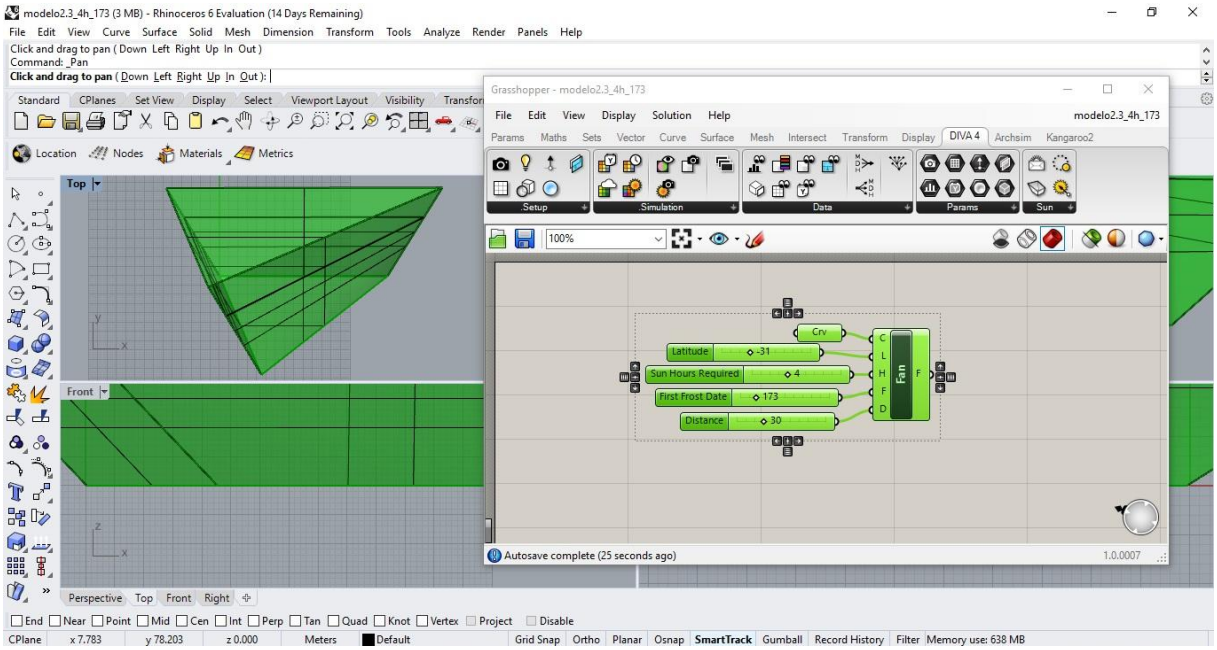


Figura 09- Envelope resultantes para o modelo 2C com 4h de sol.
Fonte: Simulação gerada pela autora, 2019.

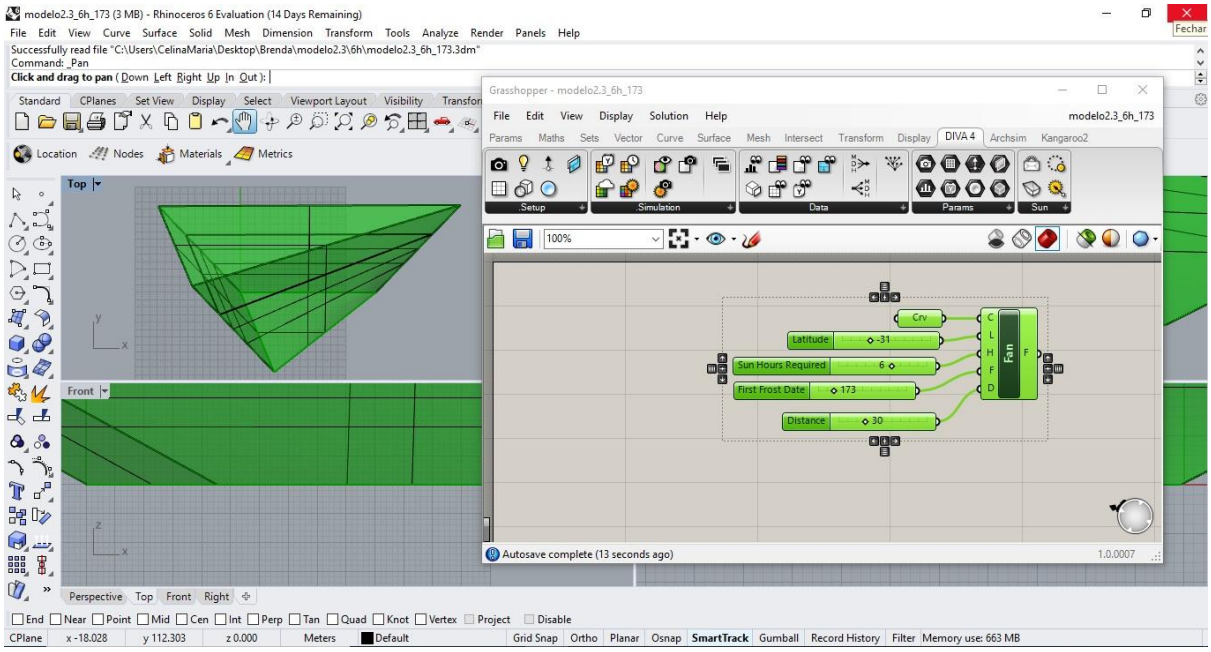


Figura 10- Envelope resultantes para o modelo 2C com 6h de sol.
Fonte: Simulação gerada pela autora, 2019.

6. Modelo 2D

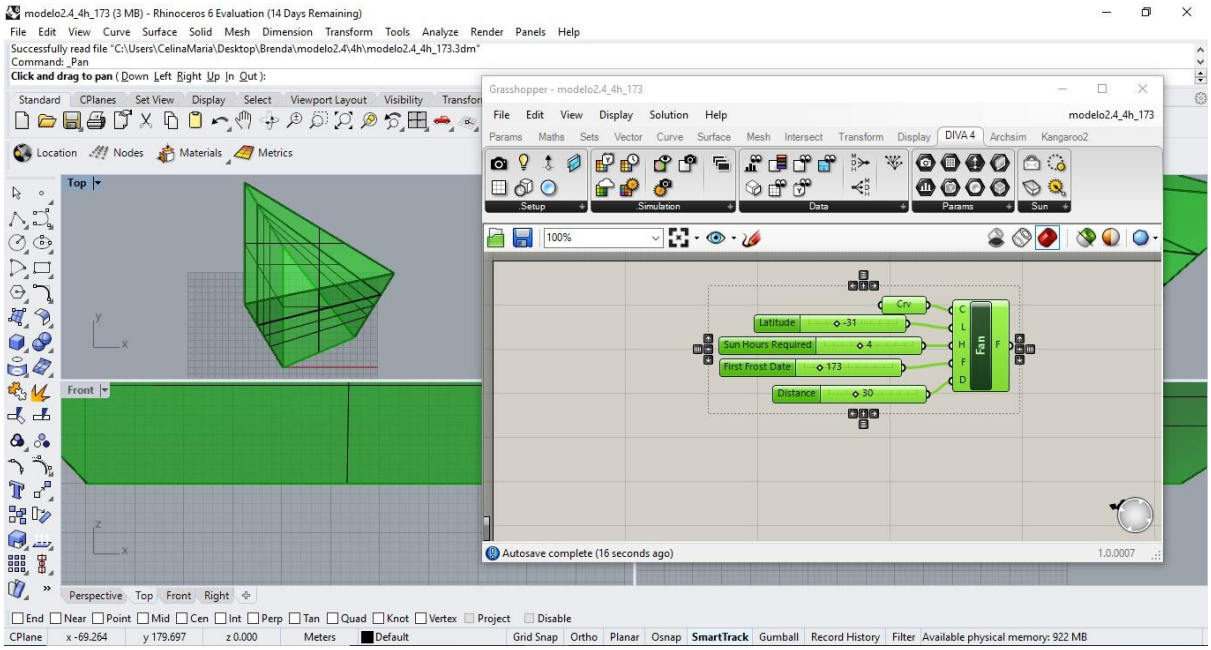


Figura 11- Envelope resultantes para o modelo 2D com 4h de sol.
Fonte: Simulação gerada pela autora, 2019.

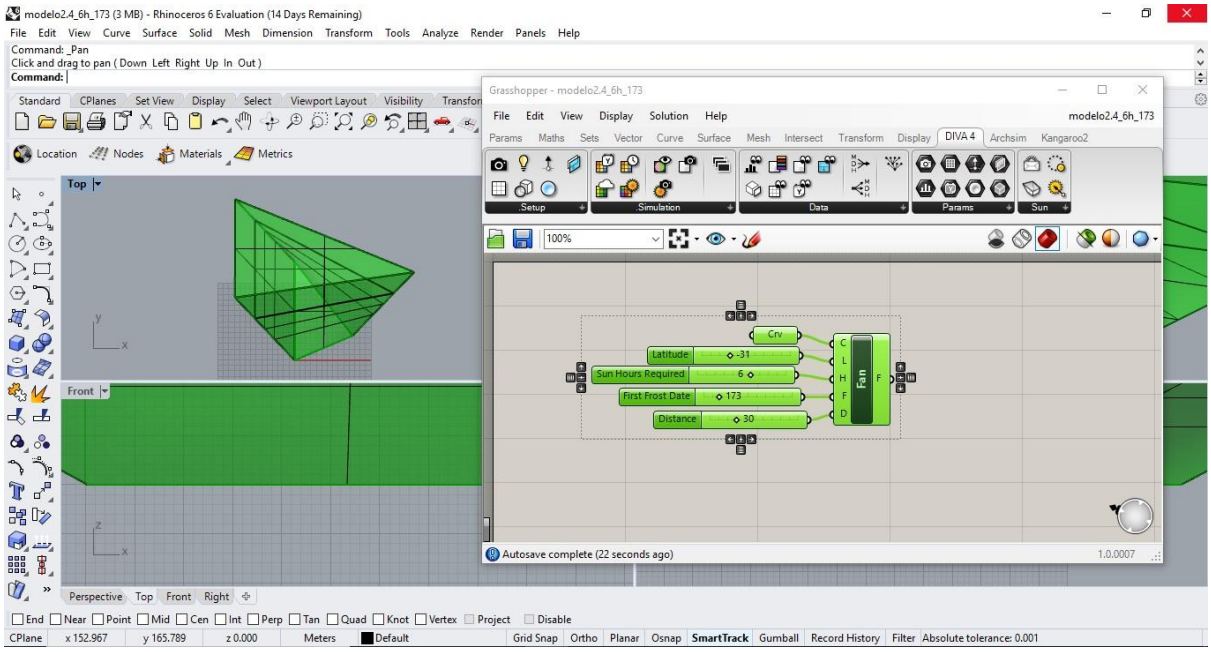


Figura 12- Envelope resultantes para o modelo 2D com 6h de sol.
Fonte: Simulação gerada pela autora, 2019.

APÊNDICE B

RESULTADOS EM TABELAS PARA 4h E PARA 6h DE ACESSO SOLAR

1. 4h de sol

Modelo 1A- Máximas Alturas Possíveis Sem Gerar Sombreamento (4horas de sol)						
Orientação Solar	Sem Recuo			Com Recuo de 4m		
	Gabarito das Vias			Gabarito das Vias		
	40m	18m	16m	40m	18m	16m
Norte	25,31m	11,38m	10,12m	27,84m	13,91m	12,65m
Sul	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite
Leste	Sem Limite	18,36m	16,32m	Sem Limite	22,44m	20,40m
Oeste	Sem Limite	18,96m	16,85m	Sem Limite	23,17m	21,07m

Tabela 1- Máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento- Modelo 1A- 4h.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Modelo 1B- Máximas Alturas Possíveis Sem Gerar Sombreamento (4horas de sol)						
Orientação Solar	Sem Recuo			Com Recuo 4m		
	Gabaritos das Vias			Gabaritos das Vias		
	40m	18m	16m	40m	18m	16m
Norte	25,32m	11,39m	10,12m	27,86m	13,92m	12,65m
Sul	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite
Leste	40,80m	18,36m	16,32m	44,88m	22,44m	20,40m
Oeste	42,14m	18,96m	16,85m	46,35m	23,17m	21,07m

Tabela 2- Máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento- Modelo 1B- 4h.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Modelo 2A- Máximas Alturas Possíveis Sem Gerar Sombreamento (4horas de sol)						
Orientação Solar	Sem Recuo			Com Recuo 4m		
	Gabaritos das Vias			Gabaritos das Vias		
	40m	18m	16m	40m	18m	16m
Nordeste	24,21m	11,83m	10,52m	26,84m	14,46m	13,15m
Sul	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite
Noroeste	21,18m	9,50m	8,40m	23,38m	11,69m	10,60m

Tabela 3- Máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento- Modelo 2A- 4h.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Modelo 2B- Máximas Alturas Possíveis Sem Gerar Sombreamento (4horas de sol)						
Orientação Solar	Sem Recuo			Com Recuo 4m		
	Gabaritos das Vias			Gabaritos das Vias		
	40m	18m	16m	40m	18m	16m
Noroeste	20,25m	9,90m	8,80m	22,45m	12,10m	11,00m
Sudoeste	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite
Leste	37,56m	18,36m	16,32m	41,64m	22,44m	20,40m

Tabela 4- Máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento- Modelo 2B- 4h.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Modelo 2C- Máximas Alturas Possíveis Sem Gerar Sombreamento (4horas de sol)						
Orientação Solar	Sem Recuo			Com Recuo 4m		
	Gabaritos das Vias			Gabaritos das Vias		
	40m	18m	16m	40m	18m	16m
Norte	23,25m	11,37m	10,11m	25,78m	13,90m	12,64m
Sudeste	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite
Sudoeste	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite

Tabela 5- Máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento- Modelo 2C- 4h.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Modelo 2D- Máximas Alturas Possíveis Sem Gerar Sombreamento (4horas de sol)						
Orientação Solar	Sem Recuo			Com Recuo 4m		
	Gabaritos das Vias			Gabaritos das Vias		
	40m	18m	16m	40m	18m	16m
Nordeste	22,09m	9,90m	8,76m	24,37m	12,19m	11,05m
Sudeste	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite
Oeste	38,79m	18,96m	16,85m	43,00m	23,17m	21,07m

Tabela 6- Máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento- Modelo 2D- 4h.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

2. 6h de sol

Modelo 1A- Máximas Alturas Possíveis Sem Gerar Sombreamento (6horas de sol)						
Orientação Solar	Sem Recuo			Com Recuo 4m		
	Gabaritos das Vias			Gabaritos das Vias		
	40m	18m	16m	40m	18m	16m
Norte	20,71m	9,30m	8,27m	22,78m	11,37m	10,34m
Sul	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite
Leste	Sem Limite	9,57m	8,51m	Sem Limite	11,70m	10,63
Oeste	Sem Limite	9,89m	8,79m	Sem Limite	12,08m	10,98m

Tabela 7- Máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento- Modelo 1A- 6h.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Modelo 1B- Máximas Alturas Possíveis Sem Gerar Sombreamento (6horas de sol)						
Orientação Solar	Sem Recuo			Com Recuo 4m		
	Gabaritos das Vias			Gabaritos das Vias		
	40m	18m	16m	40m	18m	16m
Norte	20,74m	9,32m	8,28m	22,82m	11,39m	10,39m
Sul	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite
Leste	21,27m	9,57m	8,51m	23,40m	11,70m	10,63
Oeste	22,00m	9,90m	8,80m	24,20m	12,10m	11,00m

Tabela 8- Máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento- Modelo 1B- 6h.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Modelo 2A- Máximas Alturas Possíveis Sem Gerar Sombreamento (6horas de sol)						
Orientação Solar	Sem Recuo			Com Recuo 4m		
	Gabaritos das Vias			Gabaritos das Vias		
	40m	18m	16m	40m	18m	16m
Nordeste	14,80m	7,23m	6,43m	16,40m	8,84m	8,03m
Sul	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite
Noroeste	14,69m	6,59m	5,83m	16,22m	8,11m	7,35m

Tabela 9- Máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento- Modelo 2A- 6h.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Modelo 2B- Máximas Alturas Possíveis Sem Gerar Sombreamento (6horas de sol)						
Orientação Solar	Sem Recuo			Com Recuo 4m		
	Gabaritos das Vias			Gabaritos das Vias		
	40m	18m	16m	40m	18m	16m
Noroeste	15,16m	7,41m	6,58m	16,80m	9,05m	8,23m
Sudoeste	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite
Leste	19,58m	9,57m	8,51m	21,71m	11,70m	10,63m

Tabela 10- Máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento- Modelo 2B- 6h.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Modelo 2C- Máximas Alturas Possíveis Sem Gerar Sombreamento (6horas de sol)						
Orientação Solar	Sem Recuo			Com Recuo 4m		
	Gabaritos das Vias			Gabaritos das Vias		
	40m	18m	16m	40m	18m	16m
Norte	19,00m	9,28m	8,25m	21,06m	11,35m	10,32m
Sudeste	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite
Sudoeste	Sem Limite	19,39m	17,23m	Sem Limite	23,69m	21,54m

Tabela 11- Máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento- Modelo 2C- 6h.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Modelo 2D- Máximas Alturas Possíveis Sem Gerar Sombreamento (6horas de sol)						
Orientação Solar	Sem Recuo			Com Recuo 4m		
	Gabaritos das Vias			Gabaritos das Vias		
	40m	18m	16m	40m	18m	16m
Nordeste	14,43m	6,47m	5,72m	15,92m	7,96m	7,22m
Sudeste	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite	Sem Limite
Oeste	20,28m	9,91m	8,81m	22,48m	12,11m	11,01m

Tabela 12- Máximas alturas possíveis sem gerar sombreamento- Modelo 2D- 6h.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.