

ENVELOPE SOLAR COMO FERRAMENTA DE PLANEJAMENTO URBANO: ESTUDO DE CASO EM PASSO FUNDO/RS, BRASIL

SOLAR ENVELOPE AS AN URBAN PLANNING TOOL: A CASE STUDY IN PASSO FUNDO / RS, BRAZIL

Grace Tibério Cardoso ¹

Fernanda Moscarelli ²

Saionara Dias Vianna ³

Resumo

Como muitas cidades brasileiras, Passo Fundo/RS, Brasil, apresenta um tecido urbano consolidado, resultado de decisões apoiadas em diversas áreas do conhecimento, manifestado por meio da transformação do ambiente natural e construído. O desenho e a densificação urbana têm sido realizados sem o planejamento de todos os aspectos que interferem e resultam dessas decisões. A priorização de critérios econômicos condiciona o partido edificado e tem produzido áreas urbanas de baixo desempenho, pois desconsideram, entre outros aspectos, as vantagens de uma boa orientação solar e ventilação natural. Assim, a metodologia deste artigo associa a análise do envelope solar ao desenho urbano preexistente. A partir da classificação da morfologia urbana por quadras, selecionaram-se exemplares de quadras com certa uniformidade na configuração de lotes. As análises de insolação por meio dos volumes construídos e do envelope solar permitiram explorar os condicionantes do Plano Diretor Municipal de Passo Fundo e propor diferentes situações a partir do recomendado pela norma.

Palavras-chave: Tecido Urbano, Partido Edificado, Classificação Morfológica, Envelope Solar, Plano Diretor Municipal

Abstract

Like many Brazilian cities, Passo Fundo / RS, Brazil, presents a consolidated urban fabric, the result of decisions supported in various areas of knowledge, manifested through the transformation of the natural and built environment. Urban design and densification have been carried out without planning for all aspects that interfere and result from these decisions. The prioritization of economic criteria conditions the built environment and has produced urban areas of low performance, as they disregard, among others, the advantages of good solar orientation and natural ventilation. Thus, the methodology of this article associates the analysis of the solar envelope with the pre-existing urban design. From the classification of urban morphology by blocks, blocks of blocks with certain uniformity in the configuration of lots were selected. The analysis of insolation through the constructed volumes and the solar envelope allowed to explore the conditions of the Municipal Master Plan of Passo Fundo, and to propose different situations based on what is recommended by the standard.

Keywords: Urban Fabric, Built Environment, Morphological Classification, Solar Envelope, Municipal Master Plan

¹ PPG em Arquitetura e Urbanismo, Escola Politécnica, IMED, Passo Fundo, Brasil, orcid.org/0000-0002-1779-4631, grace.cardoso@imed.edu.br

² Departamento de Geografia e Gestão Urbana, Universidade de Paris Nanterre, orcid.org/0000-0001-8852-2839, fernanda.dcm@parisnanterre.fr

³ Universidade Federal de Pelotas, UFPel, Brasil, orcid.org/0000-0002-1212-3337, sdiasvianna@gmail.com

INTRODUÇÃO

O planejamento do uso e ocupação do solo é um processo de tomada de decisões que se apoia em subsídios de uma série de disciplinas (arquitetura e urbanismo, engenharias, geografia etc.) e é manifestado por meio da transformação dos ambientes natural e construído. Entretanto, na maioria das cidades brasileiras, o desenho e a densificação urbana têm sido realizados sem o planejamento global de todos os aspectos que interferem e resultam dessas decisões.

A forma urbana impacta na qualidade dos espaços públicos e sua animação (1, 2); nas decisões relativas à mobilidade urbana (3); na frequência das circulações sustentáveis (*soft transport modes*) e capacidade de suporte em termos de estacionamentos (4); no arranjo dos fenômenos socioeconômicos (5); nos desempenhos térmico e luminoso do espaço urbano e do espaço edificado (4; 6).

Assim, a priorização de critérios econômicos sobre os demais critérios que condicionam o partido edificado tem produzido áreas urbanas de baixo desempenho, causando um incremento no custo global, pois desconsideram, entre outros aspectos, as vantagens de uma boa orientação solar e ventilação natural. Essa prática tem impactado as condições de habitabilidade dos espaços abertos, as condições sanitárias das edificações e o consumo energético urbano brasileiro (7).

A insolação é considerada um dos aspectos mais importantes do desempenho de edificações, pois tem relevante papel na composição espacial interna e externa do ambiente construído. Considerar o acesso ao sol como um direito também é essencial na concepção do desenho urbano, pois impacta na capacidade de aquecimento passivo das edificações durante períodos mais frios, na melhora das condições de salubridade dos ambientes internos, além de proporcionar conforto também no espaço público (8, 9, 10). Capeluto *et al.* (8) lembram que a privação do acesso ao sol pode causar condições desfavoráveis à saúde urbana.

As arquiteturas passivas de outrora, normalmente denominadas vernaculares, definiam localização geográfica, parâmetros urbanos e construtivos, definições de materiais etc., articulando técnicas e culturas sociais de forma muito mais exitosa que as onerosas tecnologias atuais. De acordo com Salla (11), as cidades passivas podiam ser classificadas segundo as estratégias bioclimáticas prioritárias, que as caracterizavam como:

- Cidades com edificações de envoltória na cor branca, onde a minimização da insolação se apoiava no grau de albedo do solo e coberturas, tirando partido das pedras e solo locais, geralmente claros;
- Cidades verdes, caracterizadas pela acentuação da evapotranspiração de uma rica massa verde e pelo aumento das áreas de sombreamento;
- Cidades azuis, onde a regulação climática vinha do acréscimo de umidade das superfícies e do ar, que diminuía a temperatura e aumentavam o frescor.

Muitas dessas estratégias usavam ainda o conceito de massa térmica para minimizar as amplitudes térmicas, seja pela espessura dos fechamentos, seja

pela construção sob o solo, como em muitas cidades denominadas trogloditas (12).

Um exemplo reconhecido por aproveitamento dos raios solares é a “cidade do céu” de Acoma, Novo México, EUA. Durante o inverno, quando a altura solar é mais baixa, os raios solares incidem diretamente sobre as paredes, permitindo maior absorção de calor durante o dia (maior capacidade térmica), e liberação para o interior à noite por inércia térmica. (6).

No entanto, séculos depois, percebeu-se que o ambiente construído, na maioria das vezes, não tem sido projetado de forma a priorizar as condições naturais locais a partir de estratégias bioclimáticas para o bem-estar humano (8).

Durante todo o período entendido como moderno, as estratégias de ocupação urbanas estavam voltadas, principalmente, à geração de alojamentos “modulados” segundo uma sistemática espacial funcional predeterminada, e à presença dos espaços abertos das cidades, como um espaço a ser conquistado para a saúde, para o lazer e para a cultura (13, 14).

Essas estratégias foram assim incorporadas às regras urbanas das cidades mundiais através da exigência de recuos de frente, de fundos e, muitas vezes, laterais, a fim de permitirem a individualização do lazer, mas também assegurar o direito ao sol a cada lote urbanizado (13).

Criaram-se, assim, sob as justificativas de individualismo e de assegurar melhores condições de ventilação e insolação, uma autonomização das unidades residenciais (sejam elas unifamiliares ou plurifamiliares) em relação às estruturas superiores: lote e quarteirão (14, 15). Tal desconexão, assim como a escala monumental da produção edificada desse período, será fortemente criticada no período posterior, que demonstrará, através de estudos de gênese social, a falta de vitalidade urbana das cidades mundiais (16, 17).

Além do mais, a segregação contínua das funções urbanas, influenciadas pela corrente culturalista moderna (13) e pelo condicionamento econômico-fundiário urbano, vai resultar na produção maciça de loteamentos periféricos monofuncionais que se conhece hoje (15).

Críticos desse período, autores contemporâneos apontam que o modelo de desenho urbano mais apropriado ao desenvolvimento sustentável é o de uma cidade mais compacta, com bom aproveitamento da infraestrutura existente e que, apesar de densa, consegue lançar mão da utilização da energia solar para diminuição da necessidade de climatização e iluminação artificiais (4, 5, 15,16). Por outro lado, a tendência ao adensamento e a verticalização exagerada dos centros urbanos comprometem a insolação dos edifícios. Faz-se necessária, portanto, a revisão das legislações urbanísticas a fim de incorporar propostas que garantam o acesso ao sol sem prejuízo à vitalidade urbana, desmistificando a ideia de que cidades densas não apresentam desempenho térmico e luminoso satisfatório.

Neste contexto, a forma, dimensão e orientação dos lotes ganham uma importância crucial, pois juntamente com o desenho e largura das vias são determinantes no posicionamento das fachadas das edificações e na sua capacitação de insolação (18).

Desse modo, este estudo tem como objetivo a análise da implicação das regras de recuos, alturas e densidades no direito ao sol nas edificações. Mais precisamente, este trabalho utiliza o conceito de envelope solar como ferramenta para a geração da geometria ideal das edificações e, assim, subsidiar estudos propositivos que permitam revisar as regras urbanísticas atuais. O estudo se justifica, pois a relação entre clima, morfologia e energia, apesar de ser frequentemente analisada por diversos estudos, ainda parece estar fragmentada no processo de planejamento urbano e incorporação de soluções pela legislação (19).

A legislação urbanística brasileira, de uma forma geral, não aborda significativamente essa temática, sem definição de requisitos e parâmetros que garantam a insolação (18). Provavelmente isso se deva ao fato de o território brasileiro estar quase em toda sua totalidade em uma região tropical, com grande disponibilidade de radiação solar durante o ano todo. A carga térmica decorrente da exposição excessiva ao sol torna o sombreamento uma das estratégias bioclimáticas mais necessárias na maioria das regiões brasileiras (18).

Entretanto, parte significativa do território brasileiro (13,7% do território) situa-se nos subtropicais, nas zonas climáticas 1, 2 e 3 (20). Essas zonas caracterizam-se por significativas amplitudes térmicas entre verão e inverno, ocorrendo eventos de geadas e neves anualmente nas zonas de topografia mais elevada (21). Sem acesso ao sol, as edificações dessas zonas exigem o uso de sistemas de aquecimento complementares para os meses frios (8, 10).

Este é o caso da cidade de Passo Fundo, Brasil, utilizada para demonstração de proposta metodológica deste estudo. Segundo as Normas Climatológicas do Brasil, para a série histórica 1981-2010, a temperatura média anual para Passo Fundo varia de 18°C a 20°C, e apresenta amplitudes térmicas entre as estações, sendo a temperatura média no mês mais quente (fevereiro) de 25°C, e no mês mais frio (julho) varia de 10 a 12°C (22).

Como muitas cidades brasileiras, a cidade já apresenta um tecido urbano consolidado. Sendo assim, é importante que a metodologia proposta neste artigo associe a análise do envelope solar à análise do desenho urbano preexistente, definindo zonas prioritárias ao estudo.

Vale ressaltar que a metodologia apresentada no estudo foi primeiramente aplicada no *workshop* realizado no âmbito das disciplinas de Morfologia Urbana e Tópicos Especiais em Climatologia Urbana, no segundo semestre de 2017. Os mestrandos e mestrandas matriculados nessas disciplinas realizaram o exercício de análise do envelope solar como parte do esforço em ampliar a interdisciplinaridade na pesquisa científica durante a formação como pesquisadores. Cada mestrando ficou responsável por analisar um recorte espacial da cidade de Passo Fundo, de maneira a abranger os diversos tipos de lote e as zonas definidas no Plano Diretor Municipal. As novas análises realizadas para o presente estudo foram baseadas nos exercícios do *workshop*, porém, já sanados os problemas de utilização do *software* (que aconteceram durante os exercícios).

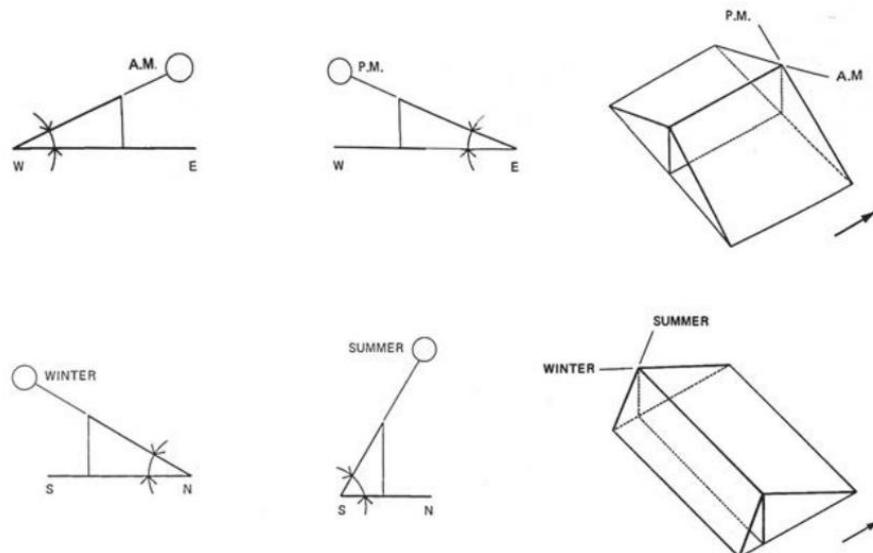
ENVELOPE SOLAR

O reconhecimento do sol como um bem insubstituível e primordial para a qualidade de vida dos seres humanos e a necessidade de garantir um acesso adequado e igual a esse recurso nas cidades levaram Knowles (23) à concepção do envelope solar. De acordo com a definição fornecida pelo autor, o envelope solar foi configurado como um “contêiner” para regular o crescimento dos edifícios de um assentamento urbano.

O envelope solar define o volume máximo edificado em um determinado lote, de forma que não projete sombras indesejáveis no entorno imediato, garantindo aos lotes vizinhos também o acesso ao sol.

Do ponto de vista conceitual, o envelope solar é a síntese de um componente temporal e espacial, ou seja, os caminhos cíclicos do sol em relação à latitude e as características físicas de um lugar, como tamanho, forma, inclinação e orientação (Figura 1). A forma e o tamanho do envelope solar variam, portanto, em relação ao local, à orientação do lote, à latitude, ao período que se deseja insolação e ao limite de sombreamento permitido ao entorno imediato (6).

Figura 1: A construção gráfica do envelope solar em Los Angeles (34° latitude norte). Definição dos limites Leste e Oeste (acima) e das fronteiras Norte e Sul (abaixo) (23).



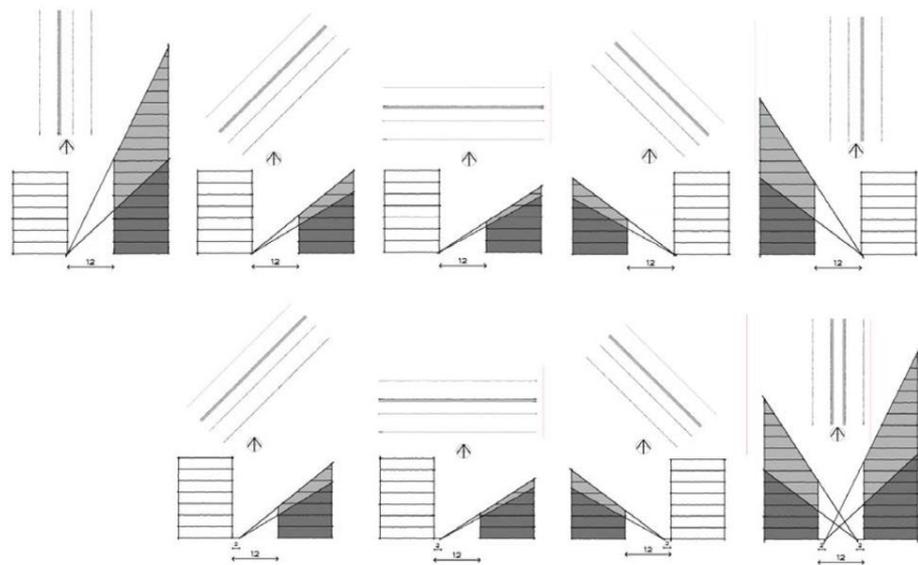
Esse tipo de abordagem exigia, em primeiro lugar, fixar os níveis de acesso solar que se destinam a ser alcançados em horários específicos do dia e ano, e determinação dos períodos de exposição considerados extremos para o cálculo do envelope (23). Em princípio, Knowles estabeleceu um intervalo mínimo de seis horas por dia, entre 9h e 15h, a fim de garantir uma contribuição solar adequada tanto ao uso ativo quanto ao uso passivo ao longo do ano. No entanto, essas condições gerariam uma densidade edilícia baixa para os padrões urbanos atuais, ótima do ponto de vista solar, mas ineficiente com relação à ocupação do solo e à mobilidade urbana.

No entanto, considerando o envelope solar como uma simples superfície bruta, capaz de apresentar diferentes soluções formais, é importante analisar as possíveis distribuições da volumetria edílicia em seu interior, a fim de otimizar a relação entre quantidade de metros cúbicos construídos e o acesso solar. Esse fato deve ser embasado nos direitos solares requeridos, isto é, os intervalos mínimos de exposição solar.

Neste sentido, (24) criam um método descritivo simples, que regulariza os direitos solares às edificações, bem como para o entorno, como ruas e espaços públicos (Figura 2). Esse método, baseado na ferramenta computacional SustArc, estabelece os ângulos de obstrução e alturas máximas dos edifícios em relação aos intervalos de luz solar que se pretende garantir em cada orientação.

Desse modo, é possível analisar e comparar diferentes soluções de *design*, a fim de determinar qual é a configuração que fornece densidade ideal (24).

Figura 2: As alturas máximas dos edifícios em Tel Aviv para garantir os direitos solares nas fachadas (acima) e nas ruas (abaixo), de acordo com diferentes orientações (8).



Assim, a aplicação do envelope solar proporciona uma diversidade maior na paisagem urbana, devido aos diferentes volumes, alturas e recuos gerados em cada lote (6, 18).

Ferramentas para geração dos envelopes solares

Atualmente, com o aumento das exigências de atendimento às normas de desempenho de projetos arquitetônicos, o uso de ferramentas de análises ambientais tem sido uma realidade crescente. A utilização da plataforma BIM (*Building Information Modeling*) aparece como ferramenta indispensável de análise, cujo potencial de incorporação de aplicativos externos, como *plug-*

ins, tem gerado novas soluções de *design*, por automatizar tarefas específicas e repetitivas dos processos de projeto (25, 26).

Nesse contexto, o *software Rhinoceros 3D/Grasshopper* tem sido uma das plataformas mais utilizadas por projetistas nos dias de hoje, por ter versatilidade funcional com diversos *plug-ins* de análises ambientais, como o *plug-in DIVA-for-Rhino*.

O *DIVA-for-Rhino*, distribuído pela Sollema LLC, constrói o envelope solar para determinado lote com base na latitude do local e períodos de acesso solar para um ano inteiro.

Atualmente, as licenças do *DIVA-for-Rhino* não estão mais à venda, sendo substituído pelo *plug-in ClimateStudio*, que tem por base os *softwares EnergyPlus* e *Radiance*. Desse modo, o *ClimateStudio* realiza análises de desempenho ambiental mais rápidas e precisas.

Realizada a parametrização do *Rhinoceros/Grasshopper/DIVA-for-Rhino*, procedeu-se à importação dos arquivos dos lotes (em *dwg*) para o *software*, servindo de base para criação de um volume máximo edificado, que considerou inicialmente o esgotamento da Taxa de Ocupação - T.O., para em seguida aplicar ao máximo possível o Coeficiente (ou índice) de Aproveitamento - C.A., segundo as regras de posicionamento construtivo no lote (recuos) estipulados pelo Plano Diretor Municipal de Passo Fundo – PDMPF (27).

Assim, definiram-se como critérios para a geração dos envelopes solares dois períodos distintos: manhã (9h-11h) e tarde (14h-16h). Além disso, os envelopes englobaram a poligonal dos lotes escolhidos no processo de análise morfológica.

Para a geração dos envelopes solares utilizou-se o método descrito por Pereira & Silva (28), conduzido em um conjunto habitacional de Florianópolis/SC. No estudo, os autores aplicaram o método lote a lote, com a referência a dois metros acima da linha do terreno. Nos casos em que os lotes faziam frente às ruas, utilizaram como limite para a geração do envelope solar o passeio oposto ao do lote. Entretanto, a análise considerou a altura padrão de peitoril de janela, ou seja, as bases dos envelopes foram posicionadas 1,0 m acima da linha do terreno.

Os parâmetros utilizados para a geração do envelope solar foram o tamanho e orientação dos lotes, latitude do local, horas do dia que se deseja insolação e nível de sombreamento permitido. O período escolhido para as análises foi o solstício de inverno, que, segundo a norma brasileira que define as diretrizes construtivas para cada zona bioclimática, é o período que mais exige estratégias de condicionamento térmico de aquecimento interno dos ambientes (20).

Houve, em seguida, a criação dos volumes alternativos, buscando, a partir do resultado da primeira análise, alterar as regras urbanísticas originais de maneira a permitir um melhor aproveitamento solar desde que os resultados sinalizavam essa possibilidade. Testamos a aplicação do escalonamento de altura e seu desempenho no acesso solar.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A primeira parte dos resultados apresenta uma síntese das análises e classificação dos diferentes elementos da morfologia urbana em grupos homogêneos. A segunda parte apresenta o resultado das análises de insolação a partir da criação dos volumes construídos e do envelope solar, de maneira a alterar as regras previamente estabelecidas pelo Plano Diretor Municipal de Passo Fundo – PDMPF (27) e propor diferentes situações.

Análise da forma urbana

A classificação da morfologia existente em partes homogêneas, segundo sua forma e escala (4, 29, 30, 31, 32), torna as regras construtivas mais facilmente aplicáveis a um zoneamento, auxiliando na revisão das regras construtivas do Plano Diretor.

Dentre os elementos da morfologia urbana, foram selecionados como base para a classificação o quarteirão – suas dimensões e formato –, pois este constitui um elemento estruturante maior do espaço construído. É através dele que lotes e construções se materializam. Ele define, por seu traçado e dimensão, a frequência viária e, em consequência, parametriza uma série de indicadores de desempenho urbano.

A análise tipo-morfológica identificou uma presença acentuada dos quarteirões triangulares e irregulares, além de 12 formatos de quarteirão mais ou menos regulares predominantes na cidade de Passo Fundo.

Para fins de exercício de análise do envelope solar e sistematização de regras urbanas, desconsideraram-se todos os quarteirões irregulares, triangulares e de dimensões muito avantajadas, pois entende-se que ou são encontrados em situações residuais, na junção entre diferentes loteamentos, ou serão provavelmente parcelados futuramente. Em alguns casos eles apresentam o uso do solo associado à presença de indústrias ou outras funções que exigem grande porte e não são objeto deste estudo.

O Traçado Quadricular é formado por quarteirões com proporção de até uma vez e meia uma lateral em relação à outra ($a = 1b - 1,5b$). Conforme sua área, os quarteirões quadrados foram classificados em:

- Quadrícula pequena: até 10.000 m² (escuro),
- Quadrícula média: entre 10.000 m² e 20.000 m² (médio),
- Quadrícula grande: acima 20.000 m² (claro).

O traçado é encontrado de forma preponderante no seu tamanho médio, principalmente na região central da cidade, logo submetido ao regime urbano denominado pelo PDMPF (27) como Zona de ocupação Intensiva 1 e Zona de ocupação Intensiva 2. Na Zona de ocupação Intensiva 1 a maior parte das edificações já esgotou os atuais índices construtivos, e terá pouca renovação nos anos futuros. Alguns quarteirões quadrangulares encontravam-se na Zona de Transição (ZT), área ainda pouco densificada, mas, apesar de estar submetida à índices construtivos médios, tem mostrado alta tendência de verticalização e na Zona de ocupação Intensiva 2, que tem apresentado alta renovação urbana nos últimos quatro anos.

O Traçado Retangular apresenta-se em formato e dimensão diversos, sendo classificado em três tipos, segundo sua proporção e dimensão (Tabela 1):

Tabela 1: estrutura analítica dos quarteirões retangulares (33).

PROPORÇÕES	DIMENSÕES (m ²)
Retangular tipo A, onde $1.5 b < a < 2.5 b$	Retângulo pequeno: até 8.000
Retangular tipo B, onde $2.5 b < a < 4 b$	Retângulo médio: entre 8.000 e 15.000
Retangular tipo C, onde $a > 4 b$	Retângulo grande: acima de 15.000

Resultam, assim, nove tipos de retângulos, que são encontrados principalmente, ainda que não exclusivamente, na Zona de Ocupação Controlada e na Zona de ocupação Extensiva (27). Na maioria das situações, sua implantação ocorreu em grande independência do traçado quadricular preexistente, preponderante na região central, resultando em descontinuidades viárias importantes.

Os quarteirões retangulares tipo A e B aparecem distribuídos tanto nas extensões naturais do traçado quadricular, mais consolidado, como dispersos em áreas periféricas. De uma forma geral os lotes resultantes dos quarteirões retangulares tipo B apresentam as melhores relações proporcionais testada-profundidade, onde a ampla maioria dos lotes tem profundidades que não excedem quatro vezes a dimensão da testada. O quarteirão retangular do tipo C é aquele que apresenta a relação entre as proporções dimensionais maiores, sendo uma lateral mais de quatro vezes a dimensão da outra. Eles aparecem pulverizados nas áreas periféricas, nas Zonas de Ocupação controlada – ZOC 1 e ZOC 2 e na Zona de ocupação Extensiva – ZE.

O maior comprimento de um dos lados condiciona uma distribuição de lotes relativamente uniformes entre eles, porém dimensões de rua contínua extremamente grandes e, em algumas situações, a dimensão do quarteirão induz a lotes de duas testadas. Do fato da análise morfológica ter apresentado uma quantidade muito reduzida desse formato, optou-se por desconsiderá-lo deste primeiro estudo.

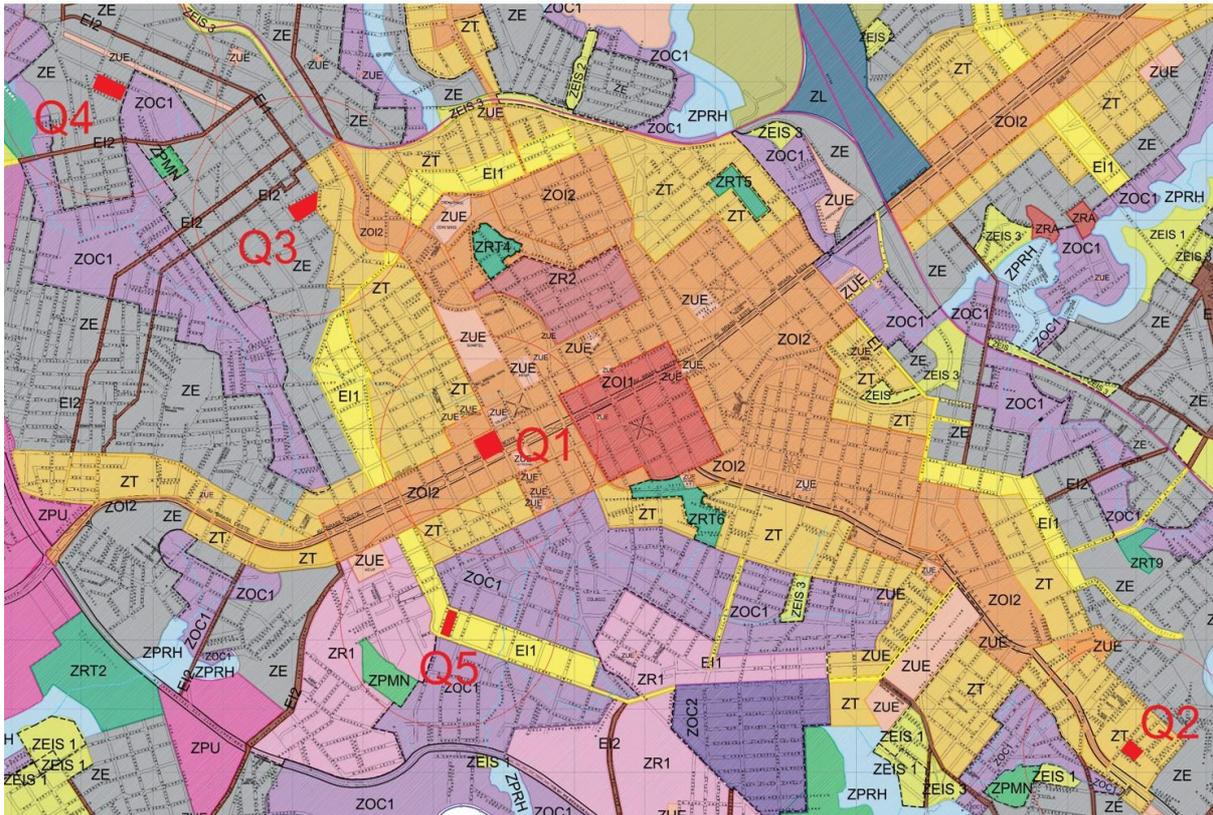
Salienta-se, ainda, que houve uma certa flexibilidade na classificação, incorporando quarteirões predominantemente retangulares, mas que apresentam formas levemente modificadas, com uma lateral em ângulo ou curvadas. Tal flexibilidade foi necessária pois a maior parte dos quarteirões retangulares existentes na cidade de Passo Fundo não se apresenta como um polígono perfeito. A não flexibilização implicaria a exclusão de mais de 50% dos quarteirões das análises de performance.

Análise dos envelopes

A partir da classificação da morfologia urbana por quadras, selecionaram-se exemplares de quadras quadrangulares e retangulares tipo A e tipo B, que apresentavam uma certa homogeneidade na configuração de lotes, definindo-se, assim, o que se entendeu como quarteirões e lotes típicos da estrutura urbana preexistente.

Seguindo a lógica de influenciar a revisão das regras urbanas futuras, foram escolhidos para este primeiro experimento as áreas urbanas de Passo Fundo sujeitas à maior pressão construtiva imediata, sendo: (Q1) um quarteirão quadrangular, localizado na Zona de Ocupação Intensiva 2 – ZOI2; (Q2) um quarteirão quadrangular, localizado na Zona de Transição – ZT; (Q3) um quarteirão retangular tipo A, localizado na Zona de ocupação Extensiva – ZE; (Q4) um quarteirão retangular tipo B; (Q5) quarteirão retangular tipo B, localizado na Zona Indutora 1. Eles estão marcados na Figuras 3, conforme a nomenclatura aqui definida.

Figura 3: Recorte do Zoneamento PDMPF e quarteirões escolhidos para a análise (27).



Inicialmente pretendia-se aplicar o envelope solar em quatro lotes típicos por quadra, utilizando-se das quatro orientações solares possíveis. Entretanto, nem sempre as quadras típicas apresentaram quatro lotes com testadas orientadas distintivamente quanto à incidência solar.

As simulações apresentadas nas Figuras 4, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 mostram a sobreposição dos volumes edificados nos lotes, segundo as regras do PDMPF (27) versus o volume dos envelopes solares. O envelope verde representa o período de análise das 9h-11h, e o envelope vermelho representa o período de análise das 14h-16h.

Assim, simulou-se o quarteirão Q1 com as regras definidas pelo PDMPF (27) referentes Zona de ocupação intensiva 2 – ZOI2 (caso 1), sendo Taxa de Ocupação - T.O. = 80% para o andar térreo (60% para os demais pavimentos), Coeficiente de Aproveitamento - C.A. = 3,6, sem recuos de ajardinamento ou laterais obrigatórios se altura máxima de 10 metros. Porém, esgotando-se o C.A., a altura máxima edificada e os recuos devem respeitar a fórmulas:

$$R = N \times 0,15 + 2 \quad \text{e} \quad N = H/2,8$$

Sendo:

R = Recuo lateral/fundos,

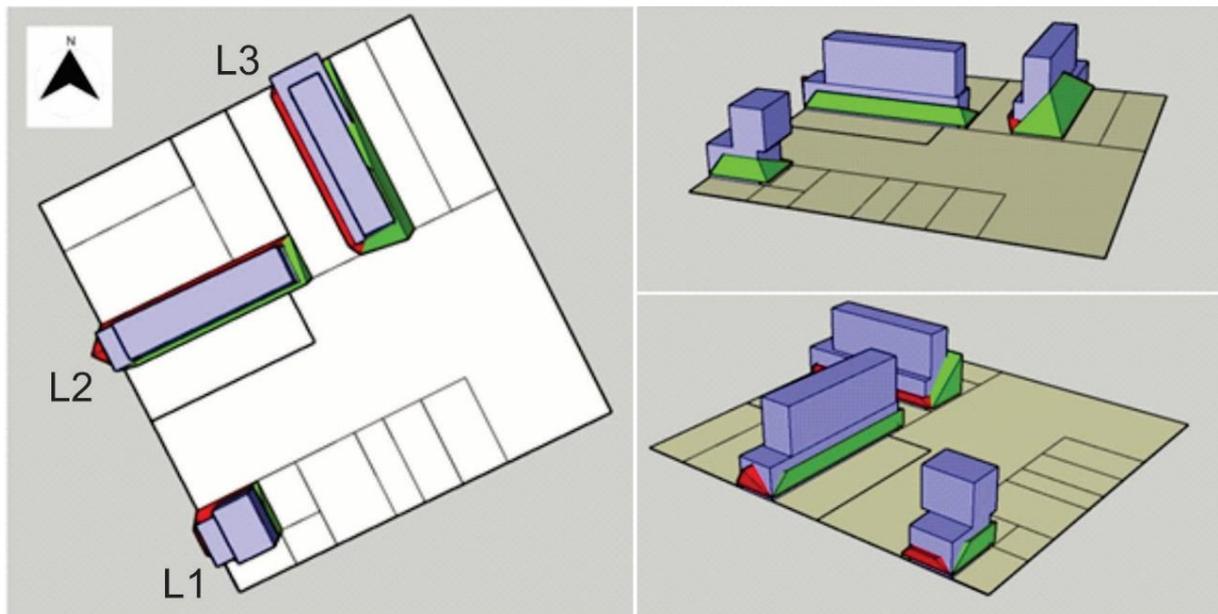
H = altura total da edificação contada a partir da soleira de entrada até a laje de forro do último pavimento

Pé-direito de referência = 2,8 (constante)

N = Relação entre altura total da edificação e pé-direito de referência

A Figura 4 apresenta a relação entre o volume edificado nos lotes *versus* o volume dos envelopes solares no quarteirão analisado. Taxa de Ocupação - T.O. = 80% para o andar térreo (60% para os demais pavimentos), Coeficiente de Aproveitamento - C.A. = 3,6, sem recuos de ajardinamento ou laterais obrigatórios se altura máxima de 10 metros. O envelope verde representa o período de análise das 9h-11h e o envelope vermelho representa o período de análise das 14h-16h (análise realizada pela acadêmica Denise de Azeredo Moreira).

Figura 4: Quarteirão Q1, (Caso 1) sobreposição dos volumes edificados nos lotes, segundo as regras do PDMPF (27) versus o volume dos envelopes solares.



Como mostram as Tabelas 2 e 3, referentes ao desempenho dos modelos de máxima ocupação para os lotes L1, L2 e L3 do quarteirão Q1, os envelopes foram “envolvidos” pela edificação, ficando contidos dentro do modelo de máxima ocupação, ou seja, o volume edificado ficou totalmente fora dos limites do envelope.

Tabela 2: Percentual de volume excedente aos limites do envelope solar para o período das 9h-11h

ZOI 2 - Envelope 9h-11h								
Lote	Orientação solar	Área (m ²)	Altura edificada (m)	T.O (%)	Volume envelope solar (m ³)	Volume edificado (m ³)	Volume excedente (m ³)	%
L1	sudoeste	263,3	22	80 (térreo)/60 (demais pavimentos)	808,5	3.607,6	2.772,7	62,78
L2	sudoeste	743,8	25	80 (térreo)/60 (demais pavimentos)	2.305,2	12.622,3	9.725,9	65,15
L3	noroeste	832,9	25	80 (térreo)/60 (demais pavimentos)	5.119,90	11.846,2	9.192,7	54,20

Tabela 3: Percentual de volume excedente aos limites do envelope solar para o período das 14h-16h

ZOI 2 - Envelope 14-16h								
Lote	Orientação solar	Área (m ²)	Altura edificada (m)	T.O (%)	Volume envelope solar (m ³)	Volume edificado (m ³)	Volume excedente (m ³)	%
L1	sudoeste	263,3	22	80 (térreo)/60 (demais pavimentos)	480,8	3.607,6	3.086,8	75,50
L2	sudoeste	743,8	25	80 (térreo)/60 (demais pavimentos)	2.403,7	12.622,3	9.885,8	65,79
L3	noroeste	832,9	25	80 (térreo)/60 (demais pavimentos)	1.574,1	11.846,2	10.146,9	75,60

Tal situação constata-se hoje onde a urbanização consolidada pelo esgotamento dos índices construtivos impede o acesso ao sol à maioria das edificações vizinhas (Figura 5).

Figura 5: Quarteirão 1, Zona de Ocupação Intensiva 2 – fotos

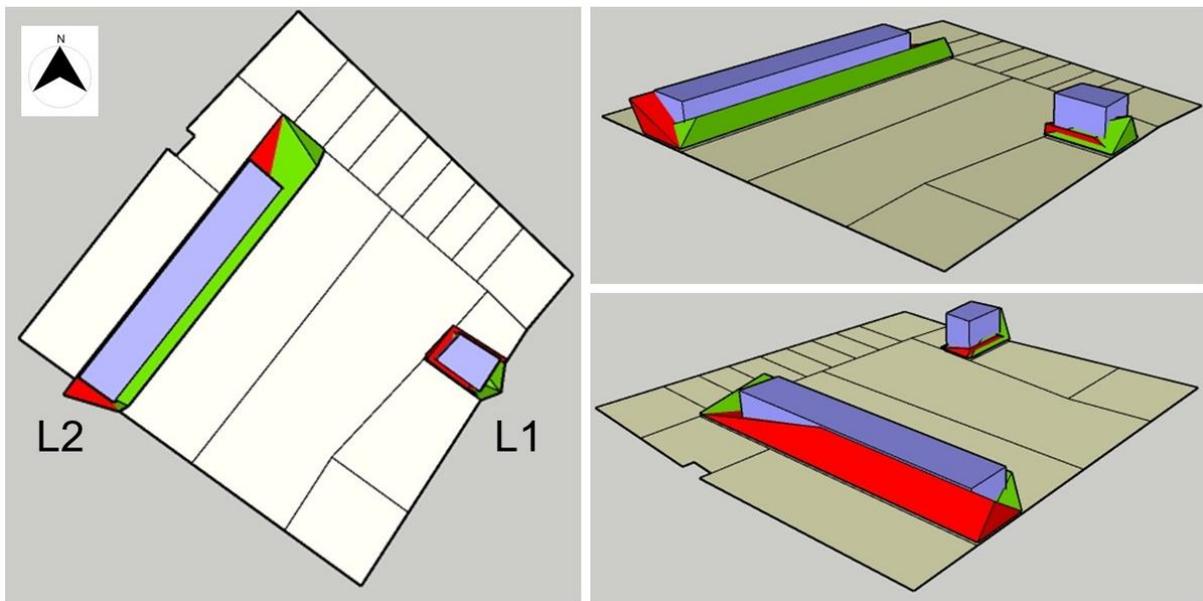


Dada a condição recente das construções, entende-se que tal situação dificilmente será revertida, sendo desnecessário propor índices mais moderados à simulação.

Os resultados seguintes referem-se à simulação do quarteirão Q2, inicialmente segundo as regras definidas pelo PDMPF (27), sendo considerados: Zona de transição (ZT), T.O. = 60% e C.A. = 2,8. Foram simulados modelos com altura edificada H = 15 m (caso 1).

A Figura 6 apresenta a relação entre o volume edificado nos lotes (L1 e L2), versus o volume dos envelopes solares no quarteirão analisado sendo considerados: Zona de transição (ZT), T.O. = 60% e C.A. = 2,8. O desempenho dos modelos de máxima ocupação para os lotes L1 e L2 é apresentado nas Tabelas 4 e 5. Foram simulados modelos com altura edificada H = 15 m (caso 1). Análise realizada a partir do estudo da acadêmica Denise de Azeredo Moreira.

Figura 6: Quarteirão Q2, (Caso 1) com ocupação dos lotes versus envelopes solares segundo as regras definidas pelo PDMPF (27).



Como observado na Figura 6, o melhor desempenho na simulação foi verificado para o lote L2 (sudoeste), no período das 14h-16h. Neste estado do experimento, não foi possível determinar se o melhor desempenho foi consequência da orientação solar ou da dimensão avantajada do lote, que permite maior flexibilidade de projeto.

Tabela 4: Percentual de volume excedente aos limites do envelope: período 9h-11h

ZT - Envelope 9h-11h								
Lote	Orientação solar	Área (m ²)	Altura edificada (m)	T.O (%)	Volume envelope solar (m ³)	Volume edificado (m ³)	Volume excedente (m ³)	%
L1	Sudeste	371,36	15	60	1.414,46	3.521,59	2.342,92	47,46
L2	Sudoeste	2446,7	15	60	11.286,86	25.635,96	14.372,27	38,93

Tabela 5: Percentual de volume excedente aos limites do envelope solar: período 14h-16h

ZT - Envelope 14h-16h								
Lote	Orientação solar	Área (m ²)	Altura edificada (m)	T.O. (%)	Volume envelope solar (m ³)	Volume edificado (m ³)	Volume excedente (m ³)	%
L1	Sudeste	371,36	15	60	650,27	3.521,59	2.931,55	70,26
L2	Sudoeste	2446,7	15	60	14.004,88	25.635,96	10.195,76	25,72

Na simulação do caso 2 (Figura 7, Tabelas 6 e 7), com alterações na volumetria, optou-se por manter T.O. = 60% e C.A. = 2,8, mas usando a regra do escalonamento a partir de 7,5 metros e sem limite de altura, tais que:

$$R = N \times 0,15 + 2 \quad \text{e} \quad N = H/2,8$$

Sendo:

R = Recuo lateral/fundos,

H = altura total da edificação contada a partir da soleira de entrada até a laje de forro do último pavimento

Pé-direito de referência = 2,8 (constante)

N = Relação entre altura total da edificação e pé-direito de referência

Optou-se por manter T.O. = 60% e C.A. = 2,8, mas usando a regra do escalonamento a partir de 7,5 metros e sem limite de altura (análise realizada a partir do estudo da acadêmica Denise de Azeredo Moreira).

Figura 7: Quarteirão Q2, (Caso 2) ocupação dos lotes versus envelopes solares, com alterações na volumetria.

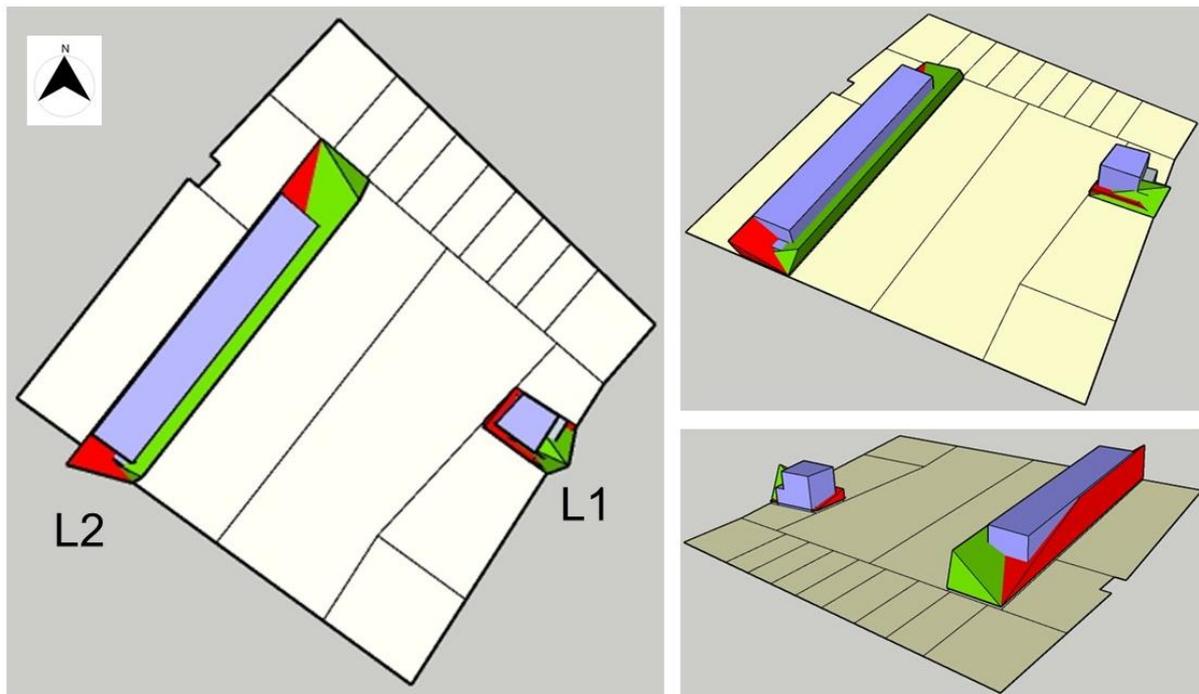


Tabela 6 – Percentual de volume excedente aos limites do envelope: período 9h-11h

ZT - Envelope 9h-11h								
Lote	Orientação solar	Área (m ²)	Altura edificada (m)	T.O (%)	Volume envelope solar (m ³)	Volume edificado (m ³)	Volume excedente (m ³)	%
L1	Sudeste	371,36	7,5 -15	60	1.414,46	3.521,59	2.023,75	40,99
L2	Sudoeste	2446,7	7,5 -15	60	11.286,86	25.635,96	12.922,23	34,99

Tabela 7- Percentual de volume excedente aos limites do envelope solar: período 14h-16h

ZT - Envelope 14h-16h								
Lote	Orientação solar	Área (m ²)	Altura edificada (m)	T.O (%)	Volume envelope solar (m ³)	Volume edificado (m ³)	Volume excedente (m ³)	%
L1	Sudeste	371,36	7,5 -15	60	650,27	3.521,59	2.525,59	60,54
L2	Sudoeste	2446,7	7,5 -15	60	14.004,88	25.635,96	9.860,34	24,87

Conforme a Figura 7 e as Tabelas 6 e 7, o melhor desempenho na simulação foi verificado para o lote L2 (sudoeste), no período das 14h-16h. Ainda que pouco significativa, a mudança de projeto resultante do escalonamento aplicado resultou em um volume excedente reduzido para os dois lotes e nos dois períodos de análise. Recomenda-se, portanto, sua incorporação aos índices dessa zona e para esse tipo de quarteirão na próxima revisão do PDMPF (27) de Passo Fundo.

Na sequência simulou-se o quarteirão Q3 com as regras definidas pelo PDMPF (27), sendo Zona de ocupação Extensiva – ZE, T.O. = 60%, C.A. = 1,2, recuos de ajardinamento de 4 metros, sem recuos laterais obrigatórios (caso 1).

A Figura 8 mostra a sobreposição dos envelopes solares para as orientações de testada noroeste (L1), sudeste (L2) e sudoeste (L3), sobre a simulação da aplicação das regras construtivas. As Tabelas 8 e 9 mostram o desempenho dos modelos de máxima ocupação para os lotes L1, L2 e L3 (análise realizada a partir do estudo da acadêmica Bruna Pereira).

Figura 8: Quarteirão Q3 da ZE (Caso 1) - ocupação dos lotes versus envelopes solares, com as regras definidas pelo PDMPF (27).

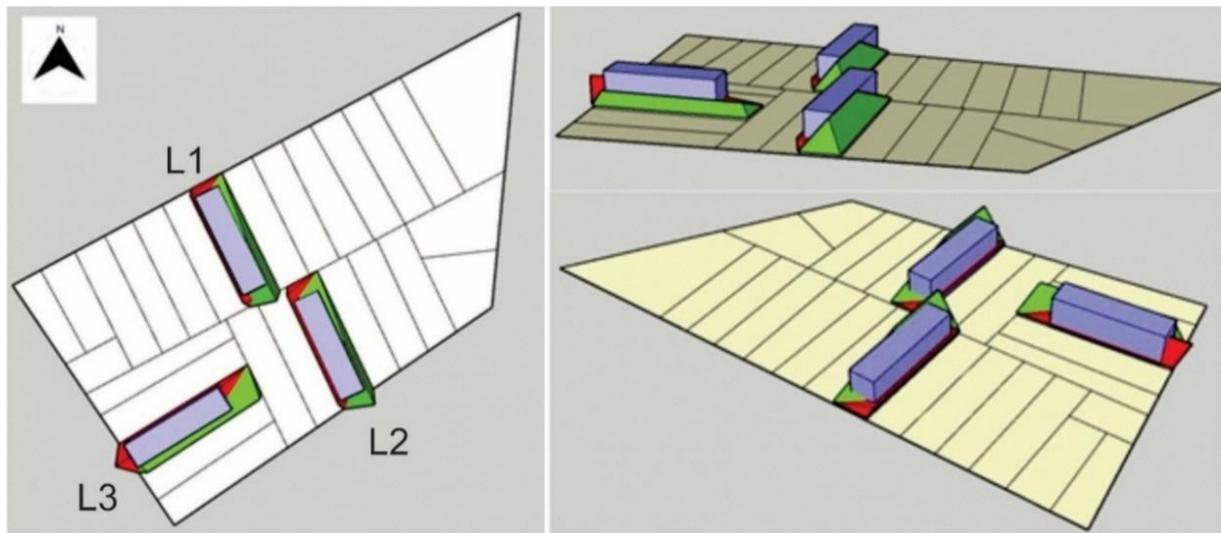


Tabela 8: Percentual de volume excedente aos limites do envelope solar: período 9h-11h

ZE - Envelope 9h-11h								
Lote	Orientação solar	Área (m ²)	Altura edificada (m)	T.O (%)	Volume envelope solar (m ³)	Volume edificado (m ³)	Volume excedente (m ³)	%
L1	Noroeste	561,84	12	60	2.717,26	4.060,8	2.065,97	30,48
L2	Sudeste	565,46	12	60	2.769,88	4.060,8	2.085,73	30,53
L3	Sudoeste	609,62	12	60	1.610,79	4.060,8	3.001,3	52,92

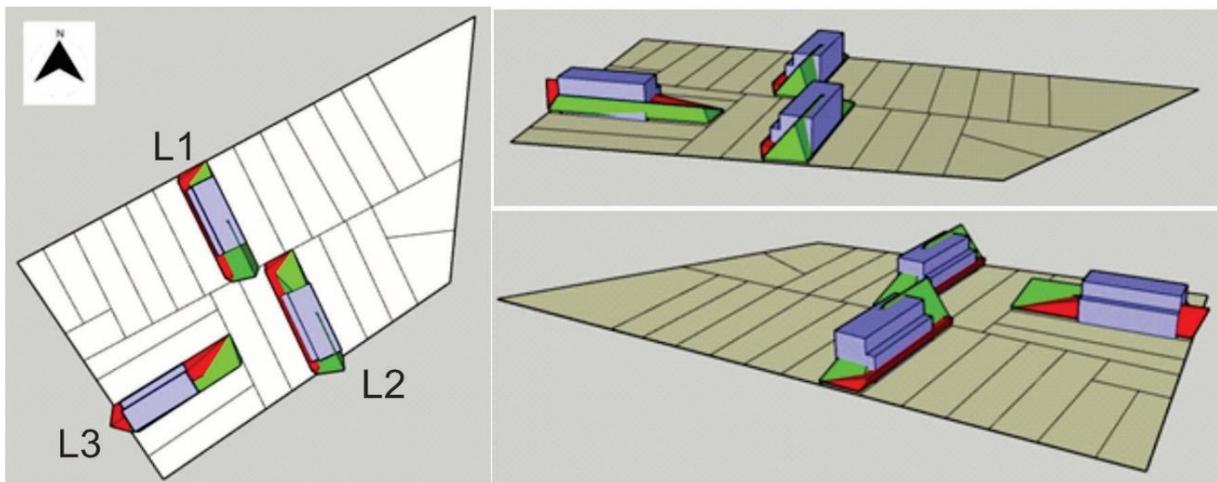
Tabela 9: Percentual de volume excedente aos limites do envelope solar: período 14h-16h

ZE - Envelope 14h-16h								
Lote	Orientação solar	Área (m ²)	Altura edificada (m)	T.O (%)	Volume envelope solar (m ³)	Volume edificado (m ³)	Volume excedente (m ³)	%
L1	Noroeste	561,84	12	60	796,15	4.060,8	3.164,56	65,15
L2	Sudeste	565,46	12	60	804,96	4.060,8	3.149,09	64,72
L3	Sudoeste	609,62	12	60	1.809,16	4.060,8	2.466,66	42,02

Para a situação configurada pelo PDMPF (27), caso 1, os lotes com orientação noroeste e sudeste apresentaram menor percentual de excedentes no período das 9h-11h, em comparação com o período das 14h-16h. Sendo os percentuais bastante elevados para as duas faixas horárias e o fato da ZE estar ainda pouco renovada, foi proposta uma alteração nas regras construtivas de modo que melhor contemplassem o direito ao sol (caso 2).

Assim, num segundo momento, foram considerados os mesmos índices da ZE: T.O. = 60%, C.A. = 1,2, recuo frontal de 4 m, mas acrescentou-se um afastamento obrigatório de 2,70 m a partir da altura de H = 7,50 m. A Figura 9 apresenta a sobreposição do volume edificado nos lotes (L1, L2 e L3), *versus* o volume dos envelopes solares para os dois períodos de insolação no caso 2 (análise realizada a partir do estudo da acadêmica Bruna Pereira). O desempenho dos modelos de máxima ocupação para os lotes L1, L2 e L3 são apresentados nas Tabelas 10 e 11.

Figura 9: Quarteirão da ZE (Caso 2) - ocupação dos lotes versus envelopes solares com as regras definidas pelo PDMPF (27).



Da mesma forma que no caso 1, os lotes com orientação noroeste e sudeste apresentaram menor percentual de excedentes no período das 9h-11h, em comparação com o período de 14h-16h. Também se verificou uma ligeira redução percentual de excedentes para os dois períodos de análise. Ainda que pouco significativo para os lotes L1 e L2 no período 14h-16h, o escalonamento do volume edificado altera sua relação com o envelope solar no horário 9h-11h.

Tabela 10: Percentual de volume excedente aos limites do envelope solar para o período das 9h-11h

ZE - Envelope 9h-11h								
Lote	Orientação solar	Área (m ²)	Altura edificada (m)	T.O (%)	Volume envelope solar (m ³)	Volume edificado (m ³)	Volume excedente (m ³)	%
L1	Noroeste	561,84	12	60	2.717,26	3.724,76	1.752,46	27,20
L2	Sudeste	565,46	12	60	2.769,88	3.724,76	1.472,5	22,67
L3	Sudoeste	609,62	12	60	1.610,79	3.724,76	2.522,57	47,27

Tabela 11: Percentual de volume excedente aos limites do envelope solar para o período das 14h-16h

ZE - Envelope 14h-16h								
Lote	Orientação solar	Área (m ²)	Altura edificada (m)	T.O (%)	Volume envelope solar (m ³)	Volume edificado (m ³)	Volume excedente (m ³)	%
L1	Noroeste	561,84	12	60	796,15	3.724,76	2.939,29	65,01
L2	Sudeste	565,46	12	60	804,96	3.724,76	2.937,23	64,84
L3	Sudoeste	609,62	12	60	1.809,16	3.724,76	2.044,43	36,94

O quarteirão Q4 (Figura 10, Tabelas 12 e 13) foi simulado diretamente usando T.O. = 60%, C.A. = 1,2, LM = 300 m², onde o recuo lateral e de fundos são dispensados até o limite de H = 7,5 m, mas os demais pavimentos devem ter recuos obrigatórios (análise realizada a partir do estudo da acadêmica Karina da Costa), de acordo com as fórmulas:

$$R = N \times 0,15 + 2 \quad \text{e} \quad N = H/2,8$$

Sendo:

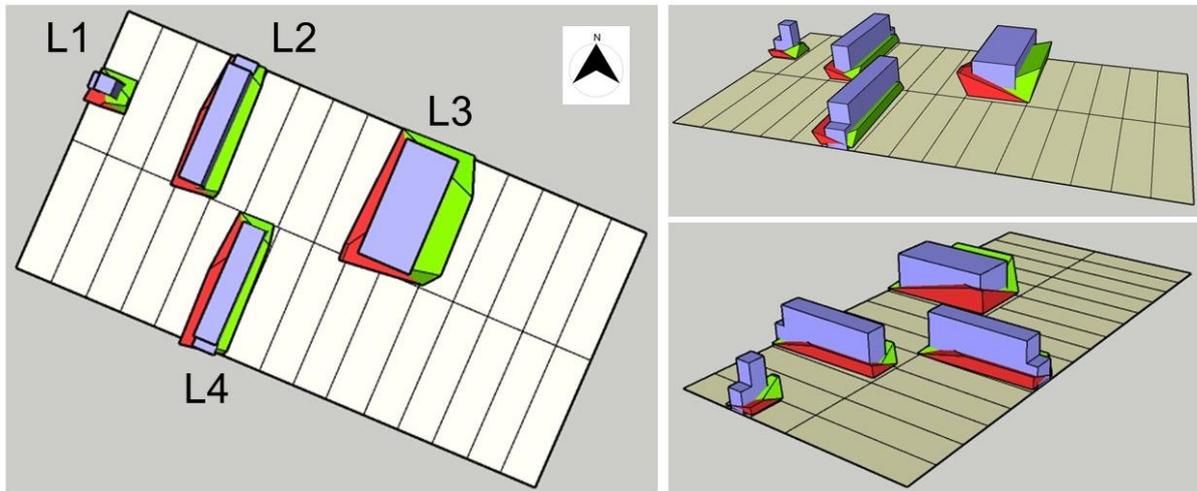
R = Recuo lateral/fundos,

H = altura total da edificação contada a partir da soleira de entrada até a laje de forro do último pavimento

Pé-direito de referência = 2,8 (constante)

N = Relação entre altura total da edificação e pé-direito de referência

Figura 10: Quarteirão Q4 da ZE (Caso 2) - ocupação dos lotes versus envelopes solares com as regras definidas pelo PDMPF (27).



A Figura 10 apresenta a sobreposição do volume edificado nos lotes (L1, L2, L3 e L4), versus o volume dos envelopes solares para os dois períodos de insolação no caso 2. O desempenho dos modelos de máxima ocupação para os lotes L1, L2, L3 e L4 são apresentados nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 12: Percentual de volume excedente aos limites do envelope solar para o período das 9h-11h

ZE - Envelope 9h-11h								
Lote	Orientação solar	Área (m ²)	Altura edificada (m)	T.O (%)	Volume envelope solar (m ³)	Volume edificado (m ³)	Volume excedente (m ³)	%
L1	Noroeste	120,0	15	60	291,9	582,17	440,0	50,33
L2	Nordeste	528,0	15	60	1.402,3	4.247,0	3.234,98	57,26
L3	Nordeste	1.056,0	15	60	5.590,7	9.359,94	6.110,13	40,86
L4	Sudoeste	528,0	15	60	1.379,3	4.241,25	3.163,79	56,28

Tabela 13: Percentual de volume excedente aos limites do envelope solar para o período das 14h-16h

ZE - Envelope 14h-16h								
Lote	Orientação solar	Área (m ²)	Altura edificada (m)	T.O (%)	Volume envelope solar (m ³)	Volume edificado (m ³)	Volume excedente (m ³)	%
L1	Noroeste	120,0	15	60	157,3	582,17	468,83	63,40
L2	Nordeste	528,0	15	60	1.109,9	4.247,0	3.305,94	61,71
L3	Nordeste	1.056,0	15	60	3.890,9	9.359,94	6.035,12	45,54
L4	Sudoeste	528,0	15	60	1.093,9	4.241,25	3.405,75	63,83

Como percebe-se, o período de análise 9h-11h apresenta melhores resultados. Mas, de forma geral, em todas as orientações de lotes a média de volume excedente fica em torno de 50% e 60% para os períodos 9h-11h e 14h-16h respectivamente. A melhor situação é a do lote L3, orientando a nordeste, que consegue manter entre 55% e 60% de seu volume edificado no interior do envelope.

O quarteirão Q5, localizado na Zona Indutora 1, foi simulado com as regras que submetem o andar térreo à Taxa de Ocupação de no máximo 80%, o Coeficiente de Aproveitamento máximo é 3,2, e Altura máxima de 7,5 m. Para os demais andares, as regras do PDMPF (27) são mais restritas, sendo Taxa de Ocupação de no máximo 60%, o Coeficiente de Aproveitamento máximo 3,2 e LM = 300 m². Os recuos lateral e de fundos foram dispensados para a altura de 7,5 m. Aplicaram-se recuos para os demais pavimentos, de acordo com as fórmulas:

$$R = N \times 0,15 + 2 \quad \text{e} \quad N = H/2,8$$

Sendo:

R = Recuo lateral/fundos,

H = altura total da edificação contada a partir da soleira de entrada até a laje de forro do último pavimento

Pé-direito de referência = 2,8 (constante)

N = Relação entre altura total da edificação e pé-direito de referência

A Figura 11 apresenta a sobreposição do volume edificado nos lotes (L1, L2, L3 e L4), versus o volume dos envelopes solares para os dois períodos de insolação no caso 1, sendo o andar térreo à Taxa de Ocupação de no máximo 80%, o Coeficiente de Aproveitamento máximo é 3,2, e Altura máxima de 7,5 m.

Para os demais andares, as regras do PDMPF (27) são mais restritas, sendo Taxa de Ocupação de no máximo 60%, o Coeficiente de Aproveitamento máximo 3,2 e LM = 300 m².

Os recuos lateral e de fundos foram dispensados para a altura de 7,5 m (análise realizada a partir do estudo da acadêmica Ariana).

O desempenho dos modelos de máxima ocupação para os lotes L1, L2, L3 e L4 são apresentados nas Tabelas 14 e 15.

Figura 11: Quarteirão Q5 da ZI1 (Caso 1) - ocupação dos lotes versus envelopes solares com as regras definidas pelo PDMPF (27).

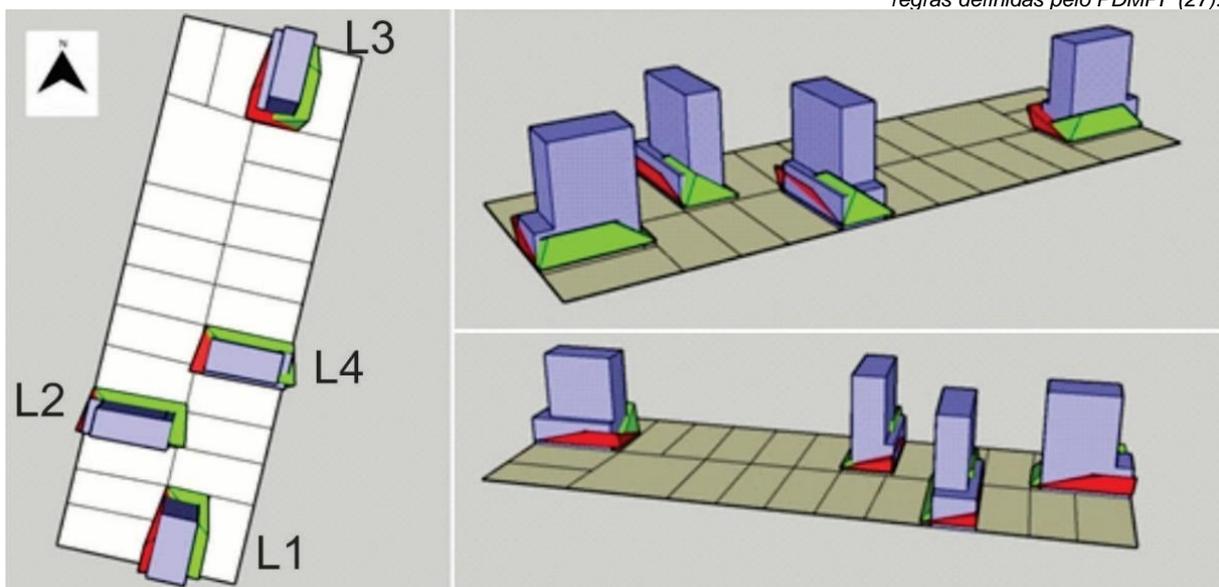


Tabela 14: Percentual de volume excedente aos limites do envelope solar para o período das 9h-11h

EI 1 - Envelope 9h-11h								
Lote	Orientação solar	Área (m ²)	Altura edificada (m)	T.O (%)	Volume envelope solar (m ³)	Volume edificado (m ³)	Volume excedente (m ³)	%
L1	Sudoeste	307,23	25	80 (térreo)/60 (demais pavimentos)	1.184,0	4.564,1	3.911,83	68,05
L2	Noroeste	313,2	25	80 (térreo)/60 (demais pavimentos)	1.430,3	4.502,6	3.266,88	55,06
L3	Sudeste	364,0	25	80 (térreo)/60 (demais pavimentos)	1.508,1	4.600,1	3.237,69	53,00
L4	Nordeste	327,5	25	80 (térreo)/60 (demais pavimentos)	1.383,7	4.462,3	3.649,32	62,42

Tabela 15: Percentual de volume excedente aos limites do envelope solar para o período das 14h-16h

EI 1 - Envelope 14h-16h								
Lote	Orientação solar	Área (m ²)	Altura edificada (m)	T.O (%)	Volume envelope solar (m ³)	Volume edificado (m ³)	Volume excedente (m ³)	%
L1	Sudoeste	307,2	25	80 (térreo)/60 (demais pavimentos.)	715,4	4.564,1	3.870,04	73,30
L2	Noroeste	313,2	25	80 (térreo)/60 (demais pavimentos)	727,4	4.502,6	3.765,61	72,00
L3	Sudeste	364,0	25	80 (térreo)/60 (demais pavimentos)	756,2	4.600,1	3.848,40	71,84
L4	Nordeste	327,5	25	80 (térreo)/60 (demais pavimentos)	847,0	4.462,3	3.747,29	70,57

Como percebe-se, o alto coeficiente de aproveitamento e a possibilidade de se edificar prédios com alturas bastante elevadas resultam num volume excedente bastante importante, especialmente para o horário das 14h-16h. Para o horário das 9h-11h percebe-se que os lotes L2 e L3, com testadas orientadas respectivamente a noroeste e a sudeste, apresentam melhores resultados.

CONCLUSÕES

Ainda que exploratório, o estudo permitiu concluir que o traçado das vias é determinante para a conformação dos lotes. No caso da cidade de Passo Fundo, a partir das simulações com os índices urbanísticos do Plano Diretor da cidade, identificou-se que os volumes edificados ficaram quase que totalmente fora dos limites dos envelopes solares. Possivelmente algumas partes das edificações existentes nesses lotes não possuem iluminação e ventilação adequadas e, desse modo, comprometam a eficiência energética e a qualidade da habitabilidade.

Observou-se que em regiões com traçado urbano consolidado não há possibilidades de alteração nas regras urbanas que melhorem as condições de acesso ao sol. No entanto, algumas das simulações com escalonamento

das edificações a partir de 7,5 m de altura resultaram na redução do volume excedente nos envelopes nos dois períodos analisados. Isso evidencia a necessidade de revisão dos critérios de planejamento para áreas pouco verticalizadas e adensadas na cidade. Essa revisão deve ser realizada em concordância com as condições do clima urbano local, para permitir acesso ao sol e ventilação urbana adequada e, assim, promover melhor qualidade ambiental nos recintos urbanos.

As simulações de envelope solar demonstraram grande importância na previsão das áreas com maior e menor insolação, podendo ser incluídas às análises de condicionantes climáticos nas etapas de estudo preliminar. Dessa forma, os projetistas conseguiriam propor soluções arquitetônicas mais efetivas para iluminação e ventilação naturais. Essa questão poderia também levar a uma mudança de postura de legisladores com relação às regras urbanísticas na cidade.

Identificou-se a necessidade de refazer as análises a partir de uma estratégia de lotes-tipos não reais (não pertencentes a nenhum parcelamento específico), a fim de permitir comparações do comportamento do envelope solar para diferentes padrões de lotes (proporções e dimensões) em diferentes posicionamentos nas quadras e orientações solares. Os resultados de simulações com lotes-tipos não reais poderão auxiliar nas análises de desempenho térmico das edificações e fornecer indicativos mais concretos alinhando a proporção dos envelopes solares à eficiência energética.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem a colaboração dos alunos e alunas de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Escola Politécnica, IMED, que realizaram o exercício preliminar de análise do envelope solar durante o segundo semestre de 2017, no âmbito das disciplinas de Morfologia Urbana e Tópicos Especiais em Climatologia Urbana.

REFERÊNCIAS

1. VAN DER VOORDt, Theo JM., VAN WEGEN, Herman BR. *Architecture in Use: An Introduction to the Programming, Design and Evaluation of Building*. London: Routledge, 2005, 326 p. <https://doi.org/10.4324/9780080490472>
2. GEHL, Jan, SVARRE, Birgitte. *How to Study Public Life*. Island Press; 2 edition. 2013. 200 p. ISBN 9781610914239
3. HILLIER, Bill, HANSON, Julienne. *The analysis of settlement layouts. In The Social Logic of Space* (pp. 82-142). Cambridge: Cambridge University Press, 1984. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511597237.005>
4. BERGHAUSER-PONT, M. B.; HAUPT, P. *Space matrix: space, density and urban form*. 2010. 280 p. ISBN 978-90-5662-742-3
5. GEHL, Jan, GEMZØE, Lars. *New city spaces*. (3rd. ed.) The Danish Architectural Press. 2008. 264p. ISBN 978-8774072935
6. KNOWLES, Ralph L. The solar envelope: its meaning for energy and buildings. *Energy and Buildings*, 2003. Vol. 35. p. 15–25. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00076-2](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00076-2)

7. VARTHOLOMAIOS, Aristotelis. The residential solar block envelope: A method for enabling the development of compact urban blocks with high passive solar potential. *Energy and Buildings*. 2015. Vol.99, p. 303–312.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.04.046>
8. CAPELUTO, I. Guedi; YEZIORO, Abraham; BLEIBERG, Tamar; SHAVIV, Edna. Solar Rights in the Design of Urban Spaces. In: *PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture*, Geneva, Switzerland, 2006, Vol.1, p. 689-694. Available from:
https://www.researchgate.net/publication/237642688_Solar_Rights_in_the_Design_of_Urban_Spaces
9. PEREIRA, Bruna S., TIBÉRIO CARDOSO, Grace. Critérios e desafios na etiquetagem de edifícios públicos : Investigação no Instituto Federal Sul-Rio-Grandense – IFSul. In *VI Seminário Internacional de Construções Sustentáveis (SICS)*. Passo Fundo/RS. 2017. ISSN 2317-5052.
10. CORTE, Carla D., MORIGI, Guilherme P., SITTA, Verônica, CARDOSO, Grace T., RIBEIRO, L. A., & SILVA, T. L. Análise do potencial de geração de energia solar em residências de Passo Fundo- RS. In *VI Seminário Internacional de Construções Sustentáveis (SICS)*. Passo Fundo/RS. 2017. ISSN 2317-5052
11. SALAT, Serge. *De la ville blanche, verte et bleue à la forme urbaine bioclimatique*, pp. 224 - 243. In: TERRIN, Jean-Jacques; Marie, Jean-Baptiste (Org.). *Villes et changement climatique: Îlots de chaleur urbains* (Barcelona, Lyon, Marseille, Montréal, Nantes, Rennes, Roma, Stuttgart, Toulouse, Wien). Edition Parenthèses, collection la ville en train de se faire, ANNEE, ISBN 978-2-86364-243-6.
12. AL-HABAIBEH, Amin. Lições de arquitetura para o futuro, por meio do passado. *Correio da UNESCO [Portuguese edition of UNESCO Courier]* (2019-4), pp. 29-33. ISSN 2179-8818. Available from:
http://irep.ntu.ac.uk/id/eprint/39203/1/1212266_Al-Habaibeh.pdf
13. CHOAY, Françoise. *L'Urbanisme, utopies et réalités: Une anthologie*, Paris, Seuil, coll. «Points», 1965 (réimpr. 1er octobre 1979), 446p.
14. FRAMPTON, Kenneth. *História crítica da Arquitetura Moderna*. Ed. Martins Fontes, São Paulo. 2015. 540 p. ISBN 9788580632101
15. MANGIN, David (2010): *La ville franchisée, Formes et structures de la ville contemporaine*, Editions de La Villette. 2010. 398 p. ISBN 10: 2903539758. ISBN 13: 9782903539757
16. NETTO, Vinicius M.; VARGAS, Julio C., SABOYA, Renato T. (Buscando) Os efeitos sociais da morfologia arquitetônica. (Looking for) The social effects of architectural morphology. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana* (Brazilian Journal of Urban Management), 2012, Vol. 4, no. 2, p. 261-282.
<https://doi.org/10.7213/urbe.7400>
17. JACOBS, Jane. *The death and life of great American cities*. New York: Modern Library. 598 p. 2011.
18. CASTRO PEREZ, Denis R., FAVERO, Edson. O envelope solar como critério para adensamento e verticalização no planejamento urbano. *Revista Intellectus*, Vol. 28 , Volume Especial de Planejamento Urbano Saudável. 2014. p. 33-49. Available from: <http://revistaintellectus.com.br/artigos/28.300.pdf>
19. ERELL, Evyatar. The application of urban climate research in the design of cities. *Adv. Build. Energy Res*. 2008. Vol 2. p. 95–121.
<http://dx.doi.org/10.3763/aber.2008.0204>
20. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15220-3. Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático Brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.
21. CAVALCANTI, Iracema F. A.; FERREIRA, Nelson J. M.; SILVA, Maria G. A. J.; DIAS, Maria A. F. S. (Org.). *Tempo e clima no Brasil*. Editora Oficina de Textos, 1º edição, 464 p., 2009. ISBN: 978-85-86238-92-5; eISBN: 978-85-7975-234-6.

22. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Normais Climatológicas do Brasil. 2018. Available from: https://clima.inmet.gov.br/NormaisClimatologicas/1961-1990/precipitacao_acumulada_mensal_anual
23. KNOWLES, R. L. *Sun Rhythm Form*. The Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts. 1981. 198 p.
24. CAPELUTO, I. G.; SHAVIV, E. On the use of “solar volume” for determining the urban fabric. *Solar Energy*. 2001. Vol. 70, no. 3, p. 275–280.
25. CARDOSO, Grace, BERNARDES, Marina, SARAIVA, Naísa B. M. *Incorporação de resultados de avaliação pós-ocupação de escola em modelo BIM* (pp. 890–898). Editora Edgard Blucher, Ltda. 2018. <https://doi.org/10.5151/eneac2018-066>
26. SILVA, Juliano L., MUSSI, Andréa Q., RIBEIRO, Lauro A., SILVA, Thaísa L. Plug-ins State of Art in BIM Software Repositories Assessment and Professional Use Perspective. *CAAD Futures* 17, 2017. p. 309–320.
27. PMPF - Prefeitura Municipal de Passo Fundo. Levantamento aerofotogramétrico digitalizado em Plataforma CAD. 2016.
28. PEREIRA, Fernando O. R.; NOME, Carlos A. Proposta de sistemática de uso em planejamento urbano do envelope solar para Florianópolis como forma de controle da ocupação do solo urbano em função da insolação. In: IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC, 1997, Salvador. *IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO*, 1997. p. 375-380.
29. CANIGGIA, Gianfranco; MAFFEI, Gian L. *Architectural composition and building typology: interpreting basic building*. Firenze, Ed. Alinea, 2001. 240 p. ISBN 888125-426-3.
30. WHITEHAND, J. W. R. British urban morphology: The Conzenian tradition. *Urban Morphology*, 2001. Vol. 5, no. 2, p.103–109.
31. CONZEN, Michael P. *Thinking about urban form, papers on urban morphology (1932-1998)*. Oxford, New York, Peter Lang, 2004. 304 p. ISBN 3039102761
32. LAMAS, José Manuel R. G. *Morfologia urbana e desenho da cidade. 4ª Edição*. Porto, Fundação Calouste Gulbenkian - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, 2007. no 200, 590 p.
33. MOSCARELLI, Fernanda, TIBÉRIO CARDOSO, Grace. Urban Rules and Morphology Analysis as Support to Solar Performance in Passo Fundo/RS, Brazil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020. Vol. 503. Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/503/1/012034>

Submetido: 09/11/2020

Aceito: 23/08/2021