



# Envelopamento vegetal em cânions urbanos: análise da aplicação de superfícies vegetadas em edificações dos setores estruturais de Curitiba, Paraná

Marlos Hardt<sup>a</sup> e Fabio Duarte<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Escola de Belas Artes, Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana, Curso de Arquitetura e Urbanismo, Curitiba, PR, Brasil.

E-mail: marlos.hardt@pucpr.br

<sup>b</sup> Massachusetts Institute of Technology, Senseable CityLab, Cambridge, MA, EUA; Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Escola de Belas Artes, Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana, Curitiba, PR, Brasil. E-mail: duarte.fabio@pucpr.br

Submetido em 18 de junho de 2020. Aceito em 10 de novembro de 2020.  
<https://doi.org/10.47235/rmu.v9i1.152>

**Resumo.** *Genericamente interpretados como corredores com edifícios alinhados em ambos os lados de determinada via, os cânions urbanos constituem uma das principais características morfológicas de cidades contemporâneas com eixos de adensamento atrelados ao sistema de mobilidade urbana, acarretando, muitas vezes, relevantes implicações ambientais adversas ao meio urbanizado. Entendendo o envelopamento vegetal como o revestimento de edificações com superfícies vegetadas, a hipótese da pesquisa é de que essa estratégia constitui uma medida viável para políticas públicas voltadas à mitigação desses efeitos. Objetiva-se então analisar o potencial de envelopamento vegetal para aquela configuração morfológica urbana, apoiando-se no estudo de caso dos setores estruturais de Curitiba, Paraná, permitindo, porém, sua replicabilidade em outros cenários. A partir da interpretação da estrutura espacial interna de cada trecho e da análise integrada do conjunto, a avaliação do potencial de envelopamento dos edifícios do espaço específico de estudo permite a proposição de Fator de Envelopamento Vegetal (FEV) mínimo de 0,2 para o revestimento edilício e de 0,3 para a obtenção de incentivos indiretos.*

**Palavras-chave.** cânions urbanos, eixos de adensamento, envelopamento vegetal, superfícies vegetadas.

## Introdução

Na década de 1960, a Prefeitura Municipal de Curitiba optou pelo desenvolvimento linear da cidade, sob a premissa de que o uso do solo misto combinado com adensamento populacional proporciona vantagens em termos ambientais (Rogers e Gumuchdjian, 2016), como a diminuição das distâncias a serem percorridas na cidade e, por consequência, menor dependência de automóveis.

Tal estratégia foi combinada ao chamado *Transit Oriented Development* (Cervero, 2006), agregando o transporte público à equa-

ção, principalmente pelo adensamento construtivo no entorno das estações intermodais ou ao longo dos eixos de transporte coletivo, sendo este último o caso comum de Curitiba. Os eixos de adensamento e de transporte coletivo foram dotados de outra estratégia urbana denominada *Bus Rapid Transit (BRT)*, ou seja, vias exclusivas de ônibus.

Dessa forma, o modelo de planejamento da cidade integra o transporte público, hierarquia do sistema viário e regulamentação do uso do solo privilegiando maior adensamento, verticalização, e uso misto junto aos corredores

destinados ao BRT – denominados eixos estruturais (Curitiba, 2000, Artigo 16). A utilização dessa estratégia definiu a configuração espacial de Curitiba, e permanece até hoje como o conceito fundamental de seu planejamento, sendo replicado em outros locais e na própria cidade, que mais recentemente aproveitou o antigo traçado da rodovia federal BR116, transformando-a em eixo metropolitano tendo como propulsor de seu desenvolvimento imobiliário um corredor de BRT, denominado Linha Verde.

Os eixos estruturais possuem parâmetros urbanísticos específicos, determinados pelo chamado Plano Massa, caracterizado especialmente pelo embasamento comercial na totalidade da projeção edilícia no terreno, elevado coeficiente de aproveitamento e altura livre das edificações. Desde 2000, há ainda obrigatoriedade de recuos laterais, equivalentes, no mínimo, à sua sexta parte da altura do edifício, conhecido como  $H/6$ , onde  $H$  significa *height*, ou altura) (Curitiba, 2000).

Se, por um lado, a configuração dos eixos estruturais tende a incentivar o uso do transporte público e minimizar o de veículos particulares – e, com isso, suas decorrentes implicações ambientais deletérias –, por outro, uma das consequências morfológicas é a constituição de cânions urbanos – que, por sua vez, têm consequências negativas, dentre as quais se destacam os impactos microclimáticos.

Em relação ao microclima, Romero (2016) ressalta efeitos relacionados às superfícies cegas, as quais geralmente apresentam propriedades que podem gerar desconforto em termos visuais, por ofuscamento; de ordem térmica, pelo fenômeno conhecido como “ilha de calor”; e de âmbito acústico, por reflexão, entre outros. Segundo a autora, muitos desses efeitos podem ser minimizados com a presença de vegetação no ambiente urbano.

É relevante notar, porém, que existem poucos mecanismos legais de índices urbanísticos que considerem a presença da vegetação no espaço urbano intralote, seja em Curitiba ou em outras cidades brasileiras. Em geral, o que se encontra são índices de permeabilidade que não garantem, em essência, a inserção do verde. Por outro lado, Hardt (2013) apresenta diferentes mecanismos para aplicação de componentes vegetais em edifícios, aos quais de-

nomina de Envolvimento Vegetal, que podem ser divididos em jardins verticais autoportantes e modulares ou coberturas vegetadas intensivas ou extensivas.

Neste artigo, analisamos os cânions urbanos resultantes da estruturação morfológica dos eixos estruturais de Curitiba. Para isto, escolhemos trechos em avançado estágio de consolidação, com a maioria dos lotes já ocupados aproveitando os parâmetros máximos de ocupação do solo. Mais do que identificar o problema dos cânions urbanos, este estudo pretende focar numa possível medida de amenização de alguns de seus efeitos. Esta medida é a inserção de vegetação urbana através de superfícies vegetadas, denominada aqui de envolvimento vegetal de edificações, aplicada como forma de parâmetros de ocupação do solo.

### Cânions Urbanos

Do ponto de vista morfológico, cânions urbanos são vias urbanas ladeadas por edificações com alta verticalização em relação à largura da via, contíguas ou com estreitos intervalos entre elas (Oke, 1978). Podem ser caracterizados a partir da razão entre a altura ( $H = height$ ) dos edifícios, a largura ( $W = width$ ) e o comprimento ( $L = length$ ) da via (Panão, Gonçalves e Ferrão, 2009; Georgakis e Santamouris, 2006). Além disso, o comportamento ambiental dos cânions poderá variar tanto pelo comprimento, quanto pelos afastamentos laterais das edificações ( $R$ ).

A relação entre esses componentes influenciará características de conforto ambiental urbano, tais como ventilação, acústica, desempenho térmico, qualidade do ar e iluminação (Lobaccaro et. al., 2019). Segundo Sapata (2010), a acentuação da pressão sonora, especialmente proveniente do ruído de tráfego, ocorre especialmente em cânions urbanos com razão  $H/W$  elevadas.

Em estudo realizado nos cânions urbanos formados pelos corredores estruturais de transporte de Curitiba, Suga (2005) verificou que trechos com relação  $H/W$  maior que 0,66 recebem pouca, ou em alguns casos, nenhuma incidência direta de luz solar. As alterações microclimáticas pode ser associado o fato de que as edificações urbanas arranjadas sob a forma de cânions criam barreiras físicas que tendem a alterar a intensidade e a direção de

massas de ar, gerando corredores de vento (Guerra; Cunha, 2005). Outro fenômeno comum aos cânions urbanos são as ilhas de calor urbanas, que segundo Oke (1978), são acentuadas em cânions com razão H/W elevadas.

Para Georgakis e Santamouris (2006), as condições microclimáticas num cânion urbano impactam o balanço térmico de edificações. Portanto, a velocidade e direção dos ventos, assim como a distribuição térmica dentro dos cânions é importante para o correto dimensionamento desses espaços urbanos.

Com a combinação dos fatores de ventilação e da quantidade de fontes poluentes – como resíduos veiculares – os cânions urbanos com elevada razão H/W possuem, usualmente, alta concentração de poluentes e baixa capacidade de dispersão (Ferrari et al., 2019). Duas formas de mitigação dessas situações são a mudança da geometria urbana, aumentando o fluxo de ar dentro do cânion, e a inclusão de vegetação, funcionando como filtro natural destes poluentes (Speak et al., 2012).

Como na grande maioria dos casos a alteração de geometria se torna inviável, a inserção de vegetação nos espaços edificados passa a ser uma alternativa aplicável para regiões com características de cânions urbanos. Porém, à medida que não se pode alterar a geometria das cidades com facilidade, também não há espaço disponível para o plantio de espécies vegetais diretamente conectadas ao solo, razão pela qual o envolvimento vegetal de edifícios torna-se o objeto desta pesquisa.

### **Envolvimento Vegetal de Edifícios**

Envolvimento vegetal é o revestimento de edificações com vegetação, possibilitando a melhoria da eficiência ambiental do edifício (Hardt, 2013). O envolvimento vegetal engloba superfícies horizontais e verticais, como coberturas vegetadas – planas ou inclinadas – e fachadas revestidas com plantas trepadeiras ou a sistemas tecnológicos de módulos ou muros vegetais.

No que concerne à temperatura, as superfícies vegetadas possuem dois benefícios diretos: a diminuição do efeito de ilha de calor e a melhoria do conforto térmico das edificações (Chun; Guldmann, 2018). Alexandri e Jones (2008) afirmam a sua importância para a redução da temperatura do ar em cânions urbanos em Brasília e outras 10 cidades ao

redor do mundo. Os autores concluem que para todos os climas examinados, as superfícies verticais vegetadas são mais eficazes do que as horizontais.

A vegetação resfria edificações e arredores por meio tanto do sombreamento, reduzindo o calor refletido, quanto da evapotranspiração<sup>1</sup>. Por outro lado, em locais muito frios, a vegetação auxilia na manutenção da temperatura interna das edificações, podendo atingir um ganho térmico, segundo Johnston e Newton (2004), de até 30% em relação à externa. Segundo Valesan (2009), ocorre também o controle da umidade do ar e da oxigenação do espaço pelo processo biológico das plantas.

Apesar de o controle térmico depender de vários fatores, como clima, distância entre edificações, orientação dos edifícios, tipo do envelope e densidade da cobertura vegetal (Di Nubila et. al., 2019), é possível afirmar que, por intermédio das plantas, os espaços internos tornam-se menos dependentes de sistemas de calefação e resfriamento, possibilitando menor consumo energético (Mutani; Todeschi, 2020). A vegetação na fachada pode criar uma camada de ar no interior da massa vegetal, isolando-a das condições externas, podendo tanto reduzir a temperatura ambiente a partir do sombreamento e dos processos de evapotranspiração, quanto criar uma proteção contra o vento durante os meses de inverno (Alexandri; Jones, 2008).

Com relação ao conforto acústico, Ngan (2004) cita que superfícies vegetadas absorvem o som por meio da irregularidade da vegetação e do substrato, não permitindo, assim, a reverberação das ondas sonoras.

Os materiais convencionais utilizados como revestimentos refletem em média de 30% a 70% da luz neles incidente, enquanto superfícies vegetadas refletem cerca de 20%, o que contribui para o conforto luminoso (Dias, 2016).

Temperaturas elevadas em ambientes urbanos, aliadas ao aumento do número de veículos, condicionadores de ar e emissões industriais, têm promovido o aumento de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), compostos orgânicos voláteis (VOCs), monóxidos de carbono (CO) e materiais

particulados (EPA, 2013). A vegetação captura os poluentes e possibilita a deposição atmosférica na superfície das folhas, filtrando gases nocivos. Estudo apresentado por Pugh et al. (2012) comprovam que a utilização de vegetação diminui em até 50% a concentração de poluentes denominados PM10 nos cânions urbanos.

Também se constata a absorção de poluentes circulantes, tais como CO2, fumaças de cigarros, veículos, queimadas e indústrias, além dos diversos tipos de materiais particulados (poeiras), comuns em grande parte dos ambientes urbanos (EPA, 2013). As superfícies vegetadas são capazes de filtrar contaminantes através das plantas e, no caso

da biofiltração, por micro-organismos.

Outras vantagens atribuídas às superfícies vegetadas se referem à criação de microclimas que propiciam a conservação da biodiversidade urbana, melhoria dos aspectos estéticos e psicológicos, acarretando condições de saúde física e mental dos cidadãos e proporcionam diminuição do escoamento superficial nas cidades, amenizando o pico de fluxo hídrico em casos de torrentes d'água (Hardt, 2019).

Dos benefícios acima, alguns têm motivado municipalidades ao redor do mundo para a implementação de políticas relacionadas ao envolvimento vegetal, conforme observa-se no Quadro 1.

**Quadro 1.** Motivações para a definição de legislações sobre superfícies vegetadas (fonte: elaborado com base em Azevedo, 2011; Berlin, 2019; Gutteridge, 2003; London, 2008 e Seattle, 2007).

CIDADE / PAÍS	Eficiência energética	Agricultura urbana	Gestão das águas	Ilhas de calor	Qualidade do ar	Espaços verdes	Qualidade de vida	Biodiversidade	Paisagem Urbana
Montreal									
Toronto									
Vancouver									
Chicago									
Nova York									
Portland									
Seattle									
Basel									
Berlim									
Munster									
Stuttgart									
Tóquio									
Cingapura									
Londres									
Durban									
Curitiba									

Nota: os sombreamentos indicam as motivações e justificativas de cada cidade para a elaboração de leis relacionadas às superfícies vegetadas.

Segundo Ansel e Appl (2010), muitas cidades oferecem incentivos para a implementação do envolvimento vegetal, para edifícios novos ou reformados. Em outros casos, o envolvimento vegetal é compulsório a partir de mecanismos legais, como regulações complementares às leis de uso e ocupação do solo.

As políticas de envolvimento vegetal podem ser divididas em quatro grupos (London, 2008). O primeiro é o incentivo financeiro

direto (Ngan, 2004), que compreende subsídios aplicados diretamente sobre os custos da implantação das superfícies vegetadas. São, por exemplo, benefícios fiscais sobre produtos e serviços relacionados à implantação do jardim. A principal limitação deste incentivo é a omissão de municípios com orçamentos muito limitados.

Um segundo mecanismo é o incentivo financeiro indireto, como é o caso de benefícios fiscais em impostos municipais

sobre a propriedade (London, 2008). No caso brasileiro, pode-se citar os abatimentos sobre o Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU). Outra forma desse incentivo indireto é o chamado bônus de densidade construída, permitindo ao proprietário de imóvel construir mais do que os parâmetros estabelecidos para a área, desde que aumente o envolvimento vegetal da sua edificação. Esse tipo de incentivo possui a vantagem de não configurar um dispêndio direto de recursos. Todavia, o retorno ao proprietário ocorre em longo prazo, o que diminui o seu interesse, e, portanto, a eficácia do mecanismo.

O terceiro mecanismo compreende a medida compensatória, na qual o envolvimento vegetal pode ser utilizado para mitigação de ocupações com potencial de impactos ambientais sobre elementos físicos e bióticos, nos mesmos moldes das medidas já utilizadas em estudos de impactos ambientais no Brasil (Hardt, 2006).

O quarto mecanismo relacionado ao envolvimento vegetal é sua aplicação compulsória, podendo esta ocorrer de duas maneiras. A primeira é a determinação de características – de ocupação, uso ou localização – das edificações que deverão possuir certa parcela de suas fachadas e cobertura envelopadas. A segunda estratégia para a aplicação compulsória do envolvimento vegetal é a sua regulação por leis de uso e ocupação do solo. Alguns benefícios dessa política são sua utilização por municípios com recursos orçamentários reduzidos, sendo efetivos em novas construções, apesar de não serem inviáveis em áreas já consolidadas. Como restrições, não são bem aceitos pela comunidade em geral em função dos custos gerados.

Com base na atenuação de problemas microclimáticos em cânions urbanos com o envolvimento vegetal de edificações e as possibilidades de políticas públicas para sua

implementação no meio urbano, buscou-se então compreender o potencial dos eixos de adensamento de Curitiba de receberem tais políticas.

### Metodologia

Buscamos determinar os parâmetros para implementação de superfícies vegetadas nos edifícios situados nos eixos estruturais de transporte de Curitiba, caracterizados como cânions urbanos. Como recorte espacial foi tomado trecho do Eixo Estrutural da Avenida Sete de Setembro, por ser a sua área mais consolidada.

Foram desenvolvidas as seguintes etapas: mapeamento dos componentes de análise, definição do fator potencial de aplicação de superfícies vegetadas e classificação destes fatores pelas tipologias de cânions.

O mapeamento foi realizado pelo cruzamento da planta cadastral de Curitiba (PMC, 2010) com imagens de satélite extraídas do software Google Earth (2013) e com fotografias de validação, considerando as diferenças entre áreas verdes – com e sem cobertura arbórea – e superfícies inertes. Neste caso, foi também considerada a área de árvores isoladas ( $A_{AI}$ ), sendo computada, para efeito de cálculo, a extensão de cada copa. A partir desse mapeamento, obteve-se a área total de lote ( $A_{TL}$ ), subdividida em área livre do lote ( $A_{LL}$ ) e área vegetada do lote ( $A_{VL}$ ).

Foi, então, realizado o mapeamento das edificações a partir de fotos tomadas de frente para cada edifício. Com base nessas fotografias individuais, foi adotado o critério de altura entre lajes de 2,8 metros, sendo computado o número de pavimentos, considerando cobertura, e altura de 9 metros no seu embasamento com dois pavimentos, sendo, assim, novamente verificadas as suas dimensões planimétricas por intermédio de imagens aéreas, conforme ilustrado nas figuras 1 e 2.

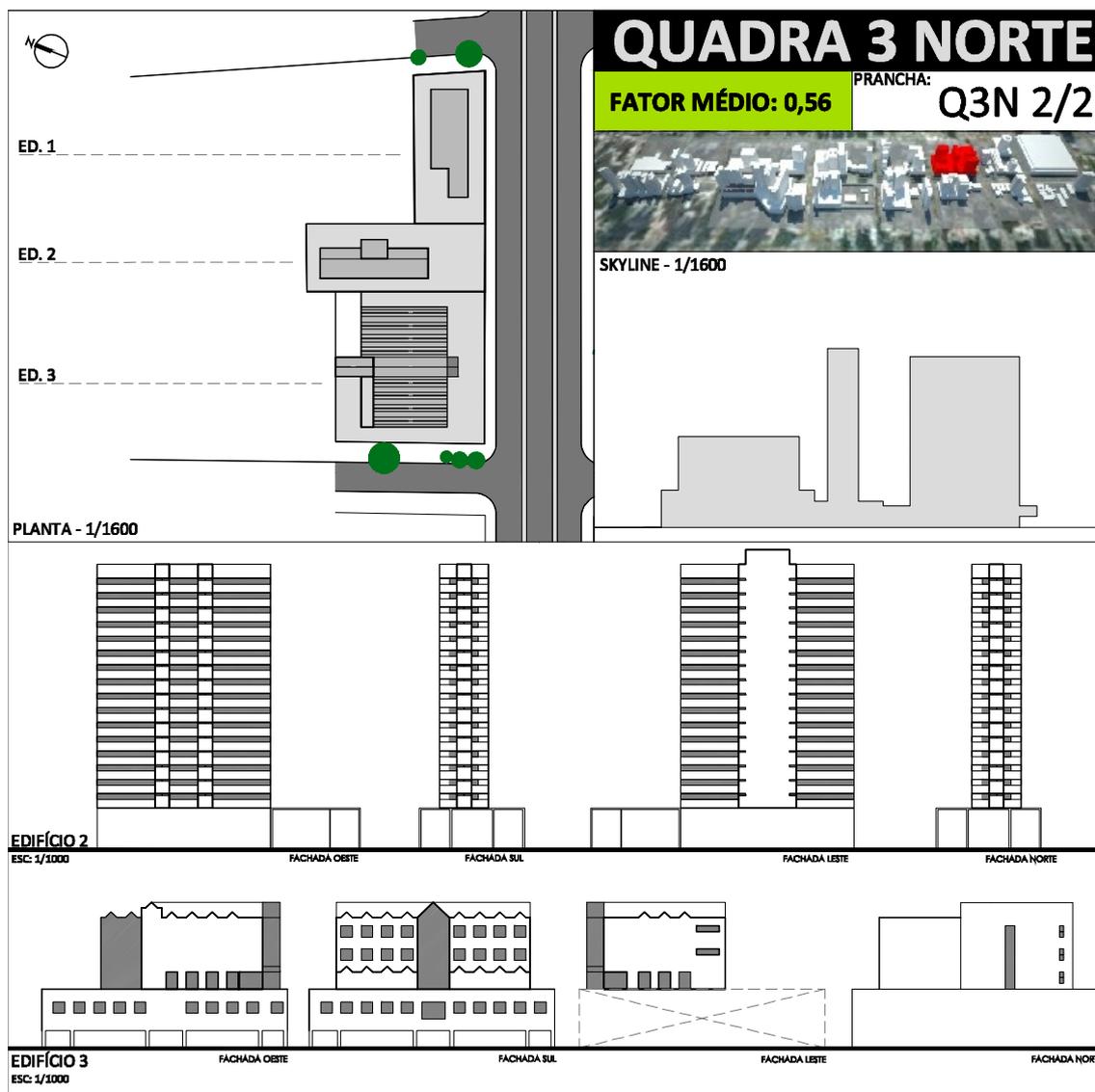
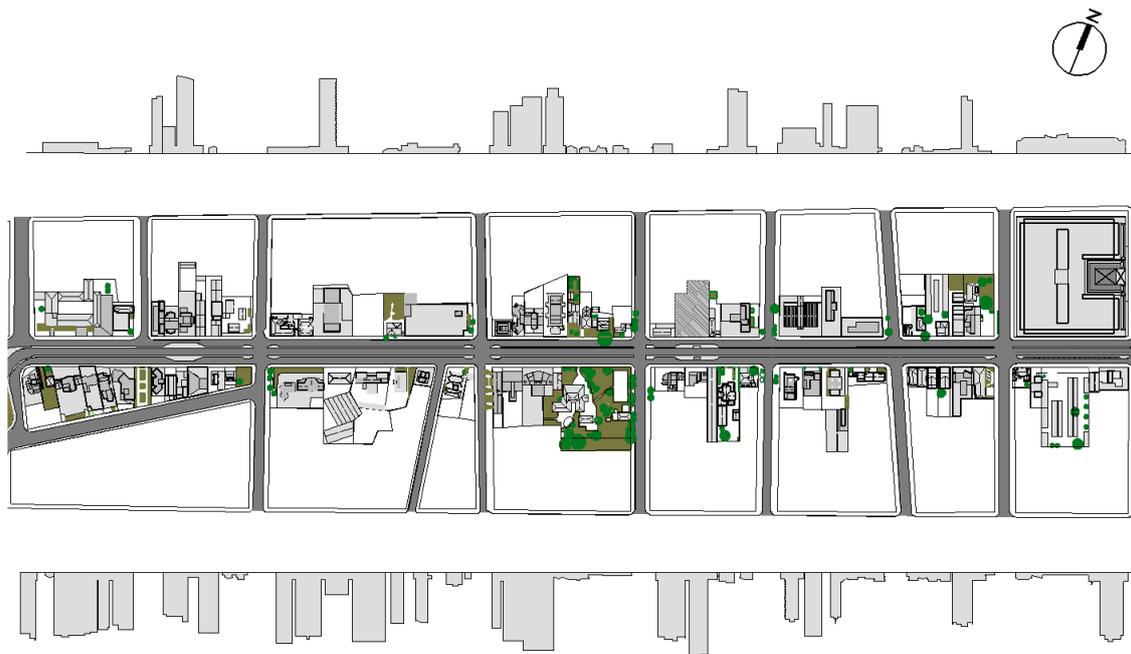


Figura 1. Prancha de mapeamento das edificações de uma quadra no trecho (fonte: elaborada pelos autores).



**Figura 2.** Representação esquemática das *skylines* dos trechos analisados no espaço específico de análise (fonte: elaborada pelos autores).

Como critério para posterior interpretação de potencial de aplicação de superfícies verticais vegetadas, foram mapeadas todas as fachadas da edificação. Em situações em que não foi possível o acesso visual a determinada superfície, adotou-se o critério da similaridade desta com a fachada imediatamente oposta. A soma das áreas resultou na área total vertical ( $A_{TV}$ ).

O passo seguinte consistiu na determinação da área líquida aproveitável da fachada. Para tanto, foram descontadas da  $A_{TV}$ , as aberturas (janelas, portas, respiros e outros vãos), os componentes de infraestrutura (antenas, nichos de ar-condicionado etc.), as superfícies com largura inferior a 30 centímetros e superfícies envidraçadas, pela impossibilidade de aplicação da maior parte das tecnologias de superfícies vegetadas nessas condições. Obteve-se, como resultado, a área útil vertical ( $A_{UV}$ ).

Para a determinação do potencial de aplicação de superfícies horizontais vegetadas, foram inicialmente mapeadas as coberturas das edificações com base em imagens aéreas, resultando na área total horizontal ( $A_{TH}$ ). Foram, então, descontadas da  $A_{TH}$  as aberturas (coberturas de vidro, zenitais etc.), assim como os componentes de infraestrutura (antenas, aparelhos de ar-condicionado, caixas d'água, piscinas etc.) e as superfícies com largura inferior a 30 centímetros, pelas

mesmas razões apontadas acima. Obteve-se, então, a área útil horizontal ( $A_{UH}$ ).

Com base nos dados levantados, tornou-se possível a medição do fator limite de aplicação de superfícies vegetadas nos edifícios localizados nos cânions urbanos do Eixo Estrutural Centro. Levando-se em consideração algumas legislações analisadas, guardadas suas peculiares de fórmulas e elementos de cálculo, o fator varia de 0,3 para áreas comerciais em Berlim, atingindo 0,6 nas áreas residenciais da mesma cidade (Berlin, 2019); 0,5 para zonas urbanísticas semelhantes ao trecho de estudo em Seattle (Seattle, 2007) e Malmö, na Suécia (Malmö, 2019).

Porém, para estas cidades, o valor base da equação para determinação do índice é a área do lote, desconsiderando, assim, a área de fachadas e cobertura para efeito de cálculo. Esta diferença se dá, provavelmente, pela consideração do benefício “gestão das águas” como prioritário nestas leis, o que não é o caso desta pesquisa.

A presente pesquisa leva em consideração, como sugestão de índice próprio, o conjunto das áreas totais de superfícies verticais e horizontais, visando à determinação do índice ideal para o Fator de Envolvimento Vegetal ( $F_{EV}$ ) de Curitiba.

Portanto, a área total considerada correspondeu à seguinte equação:

$$A_{TG} = A_{TV} + A_{TH} + A_{LL}$$

Onde:

$A_{TG}$	=	área total geral
$A_{TV}$	=	área total vertical
$A_{TH}$	=	área total horizontal
$A_{LL}$	=	área livre do lote

Neste caso, utiliza-se a área líquida do lote, e não sua área total, para evitar duplicidade de somatória, uma vez que a área total horizontal corresponde à projeção da edificação sobre o lote. Os fatores de multiplicação de área foram utilizados com base no cruzamento daqueles constantes das três leis supracitadas, conforme evidenciado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Coeficientes de fator de multiplicação conforme tipos de superfície (Fonte: elaborada com base em Berlin, 2019; Malmö, 2019 e Seattle, 2007).

Tipo de superfície	Berlim	Malmö	Seattle	Valor convencionado
Área inerte (selada)	0,0	0,0	0,0	0,0
Vegetação ligada ao solo (área verde do lote)	1,0	1,0	0,2 a 0,7	1,0
Árvores isoladas	1,0	1,0	0,5	1,0
Superfície vertical vegetada	0,5	0,7	0,7	0,7
Superfície horizontal vegetada	0,7	0,6	0,7	0,7

Como o trabalho volta-se à análise do potencial de envolvimento vegetal, outras superfícies foram consideradas inertes, ou seja, com fator nulo. Portanto, a equação final definida foi a seguinte:

$$F_{EV} = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{(A_{UV_i} + A_{UH_i}) * 0,7 + A_{LV_i} + A_{AI_i}}{A_{TGi}} \right]$$

Onde:

**$F_{EV}$  = Fator de Envolvimento Vegetal**

$A_{UV}$  = área útil vertical

$A_{UH}$  = área útil horizontal

$A_{LV}$  = área de lote vegetada

$A_{AI}$  = área de árvores isoladas

$A_{TG}$  = área total geral

A fórmula acima foi aplicada para cada lote inserido na área de estudo. De posse dos resultados, avaliou-se o potencial do envolvimento de superfícies vegetadas em edificações dos setores estruturais de Curitiba, mais especificamente no Eixo Estrutural Centro.

Com esses procedimentos de interação, pretendeu-se, em primeira instância, a comprovação da hipótese central da investigação de que o envolvimento vegetal constitui uma medida viável para políticas públicas voltadas à mitigação de efeitos ambientais negativos dos cânions urbanos.

Como decorrência, buscou-se a formulação de parâmetros urbanísticos de uso e ocupação do solo voltados aos benefícios do envolvimento vegetal em edifícios situados em cânions urbanos. Inicialmente, foi realizada a média aritmética de todos os lotes da área, com vistas à aferição da média máxima do Fator de Envolvimento Vegetal.

Visando ao cálculo da razão H/W/L, W (largura) é igual a 30 metros (distância entre alinhamentos prediais), e o L (comprimento) igual a 120 metros (comprimento de cada quadra). Quanto ao H (altura), a Avenida Sete de Setembro, mesmo que seja o trecho mais consolidado das estruturais de Curitiba, possui diferença nas alturas das edificações nos dois lados da via.

Portanto, buscando uma aproximação teórica

das geometrias homogêneas, foram consideradas as médias aritméticas dos lotes com edificações em alturas aproximadas, referenciando a sua relação com a largura dos cânions, conforme segue:

- a) geral;
- b) edifícios com mais de 20 pavimentos ( $H/W > 2$ );
- c) edifícios entre 10 e 20 pavimentos ( $1 < H/W < 2$ );
- d) edifícios entre 5 e 10 pavimentos ( $0,5 < H/W < 1$ );
- e) edifícios com menos de 5 pavimentos ( $H/W < 0,5$ ).

Para cada categoria de razão  $H/W$ , identificou-se a porcentagem de sua área útil de fachada em função da área total, e da mesma maneira para a cobertura, vislumbrando as relações entre o porte das edificações e seu potencial de envolvimento, em números relativos.

O mesmo método foi adotado para os usos do solo, classificando-os em comercial (comércio em geral, *shopping center*, estacionamentos, hotéis etc.); residencial (uso estritamente habitacional); comunitário (instituições de ensino, saúde, religiosas etc.); misto (prioritariamente residencial e comercial) e de serviços (escritórios em geral). Inicialmente, foi identificado o Fator de Envolvimento Vegetal das edificações por uso e, num segundo momento, suas proporções de envolvimento de superfícies verticais e horizontais.

Visando à comparação entre usos, ocupação e FEV, foram, então, realizadas representações volumétricas das três variáveis e efetivado o seu cruzamento por meio da apresentação de três imagens sob a mesma perspectiva.

Por fim, com o objetivo de sugerir um fator mínimo para o setor estrutural de Curitiba, foi realizada a simulação do potencial construtivo da área segundo legislação existente. Com

base nos volumes determinados de ocupação, executou-se o cruzamento das informações alcançadas sobre porcentagens de envolvimento por usos e ocupação, em superfícies verticais e horizontais, para, assim, determinar o  $F_{EV}$  máximo de novas edificações nos eixos estruturais de Curitiba.

## Resultados

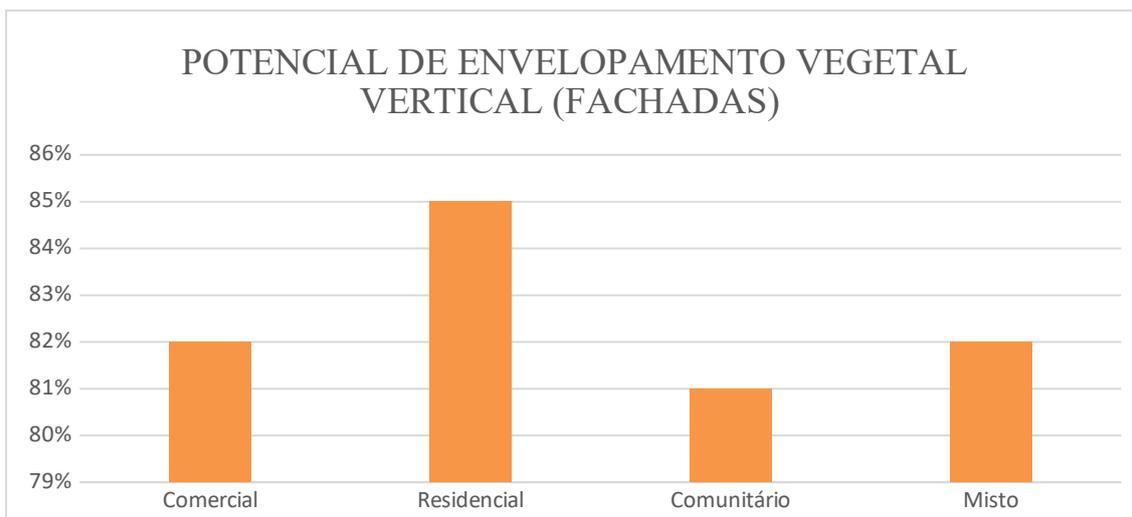
A aplicação do Fator de Envolvimento Vegetal ( $F_{EV}$ ) resultou numa média geral de 0,53. Levando em consideração esse resultado, pode-se afirmar que os edifícios localizados no trecho objeto de estudo - independentemente de seus usos e ocupações - possuem potencial máximo de envolvimento na ordem de 0,5.

Em termos de ocupação do solo, os edifícios foram classificados de acordo com a sua altura ( $H$ ) em relação à largura ( $W$ ) da Avenida Sete de Setembro (30 metros). Assim, tem-se para os edifícios com relações:

- a)  $H/W \geq 2$ , ou seja, altura ( $H$ ) superior a 60 metros;
- b)  $2 > H/W \geq 1$  ( $H$  entre 60 e 30 metros);
- c)  $1 > H/W \geq 0,5$  ( $H$  entre 30 e 15 metros);
- d)  $H/W < 0,5$  ( $H$  inferior a 15 metros).

Um aspecto importante a ser observado é que a maioria dos edifícios analisados possui altura inferior a 15 metros (52%), o que demonstra que o Eixo Estrutural Centro, mesmo sendo o mais consolidado de Curitiba, ainda se encontra em processo de consolidação.

Há somente quatro edifícios (5% do total) de altura entre 15 e 30 metros, que atingiram maior  $F_{EV}$  (0,56), enquanto aqueles com mais de 30 metros – categorias  $2 > H/W \geq 1$  e  $H/W \geq 2$  – possuem 21% e 22% do total, respectivamente. Com referência à proporção de área potencial para envolvimento vegetal vertical, os edifícios possuem as relações apresentadas no Gráfico 1.



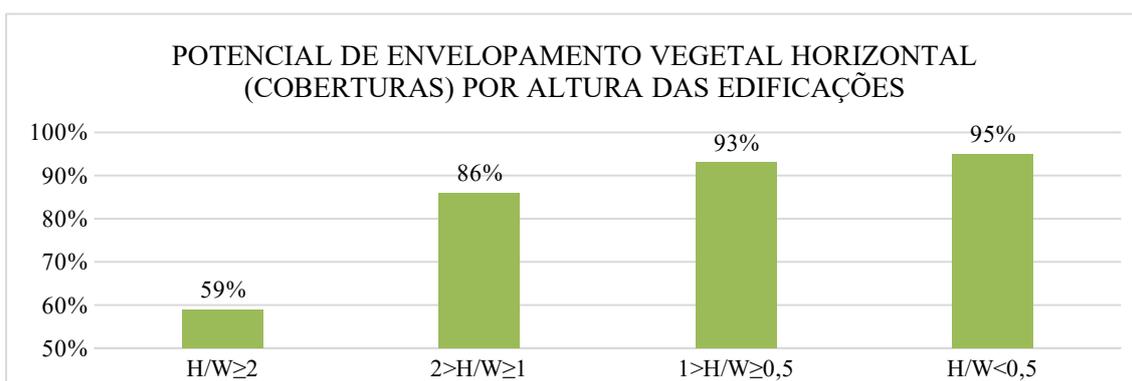
**Gráfico 1.** Relação entre altura dos edifícios e porcentagem de área potencial para envolvimento vegetal vertical no espaço específico de análise (fonte: elaborado pelos autores).

Assim, diagnostica-se que as fachadas dos edifícios mais altos e mais baixos possuem maior potencial de envolvimento. No caso das edificações com altura inferior a 15 metros, esta alta porcentagem deve-se à grande quantidade de muros presentes nos lotes, que não seguem os preceitos do Plano Massa previsto para a área. Para as edificações com mais de 60 metros de altura, atribui-se a proporção à existência de grandes empenas cegas e de outras fachadas com reduzidas aberturas, com exceção às torres de vidro, cujas fachadas envidraçadas foram consideradas não envolváveis.

De acordo com Alexandri e Jones (2008), os valores acima descritos poderiam reduzir os

efeitos de ilha de calor no setor estrutural estudado, assim como Pugh et al. (2012) consideram que 80% – porcentagem média de potencial de envolvimento vegetal para todas as edificações – poderia contribuir para a minimização da quantidade de partículas suspensas PM10 na ordem de 40% para cânions com razão  $H/W=2$  e de 15% para aqueles com razão  $H/W=1$ . Vale ressaltar novamente a complexidade morfológica do cânion urbano da área de estudo. Portanto, os dados obtidos são referenciais.

Quanto à proporção de área potencial para envolvimento vegetal horizontal, os edifícios possuem as relações apresentadas no Gráfico 2.



**Gráfico 2.** Relação entre altura dos edifícios e porcentagem área potencial para envolvimento vegetal horizontal no espaço específico de análise. (fonte: elaborado pelos autores).

Dessa maneira, afere-se que quanto mais baixa a edificação, maior o seu potencial de envolvimento horizontal. Tais resultados são surpreendentes, uma vez que edifícios de menor porte tendem a possuir aberturas zenitais

mais eficientes. A razão para esta diminuição proporcional à altura pode ser atrelada a infraestrutura alocada sobre os edifícios. Os valores médios são de 85%.

A cobertura do solo com vegetação é pouco observada em todo o trecho, por ser dispensada nas torres projetadas de acordo com os parâmetros do Plano Massa. Porém, é constatada em edificações de baixa altura, que não adotam esses parâmetros. Ressalta-se, entretanto, que grande parte dessas edificações são anteriores ao zoneamento de uso e ocupação do solo em vigência (CURITIBA, 2000), sendo várias delas destinadas a estacionamentos térreos. No que concerne à relação do Fator de Envolvimento Vegetal com os usos das edificações, verifica-se os seguintes fatores médios:

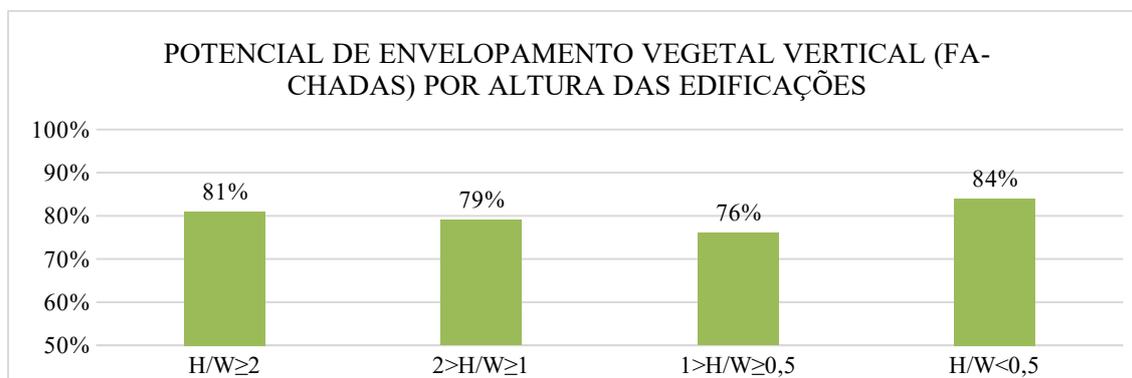
- a) comercial – 0,48;
- b) residencial – 0,61;
- c) comunitário – 0,56;
- d) misto – 0,54;
- e) serviços – 0,50.

Os usos mistos e comerciais são os mais recorrentes no trecho, com 24 edifícios cada, ou 31%, sendo que esses últimos se referem geralmente à relação  $H/W < 0,5$  e os primeiros a  $H/W > 1$ .

Os edifícios destinados a serviços são os mais incentivados pela legislação municipal (Curitiba, 2000), o que amplia o potencial construtivo do lote em uma vez e meia para edificações que utilizem a torre para escritórios; porém, percebe-se que, mesmo que em sua maioria sejam altos ( $H/W > 1$ ), possuem baixo  $F_{EV}$ , especialmente por se tratarem de torres com elevadas taxas de revestimento em vidro. Outro fato constatado é que, mesmo que sejam os mais incentivados, esses usos não são os mais recorrentes, uma vez que totalizam 12 edifícios, equivalendo, portanto, a 16%.

O uso residencial, detentor do maior  $F_{EV}$  dentre as destinações dos edifícios, representa em torno de 15% do total e, em sua maioria, têm baixa altura, salvo em casos particulares de torres de apartamentos sem embasamento comercial. O uso menos recorrente no trecho é o comunitário, representando aproximadamente 5% das edificações.

Em termos de proporção de área potencial para envolvimento por superfície vertical, têm-se os resultados apresentados no Gráfico 3.

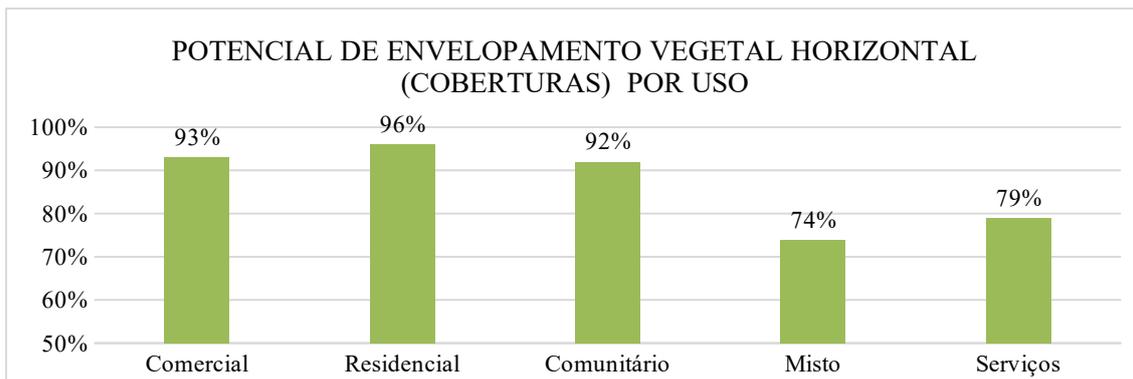


**Gráfico 3.** Relação entre usos dos edifícios e porcentagem de área potencial para envolvimento vegetal vertical no espaço específico de análise. (fonte: elaborado pelos autores).

Logo, identifica-se relativa homogeneidade nas porcentagens de potencial de envolvimento horizontal. Novamente, atrela-se aqui a relativa baixa porcentagem com a existência de fachadas de vidro, relacionadas com torres de escritórios, vinculadas à prestação de servi-

ços, e com a alta proporção de muros de residências existentes no trecho.

Com relação à proporção de área potencial para envolvimento por superfície horizontal, tem-se os resultados expostos no Gráfico 4.



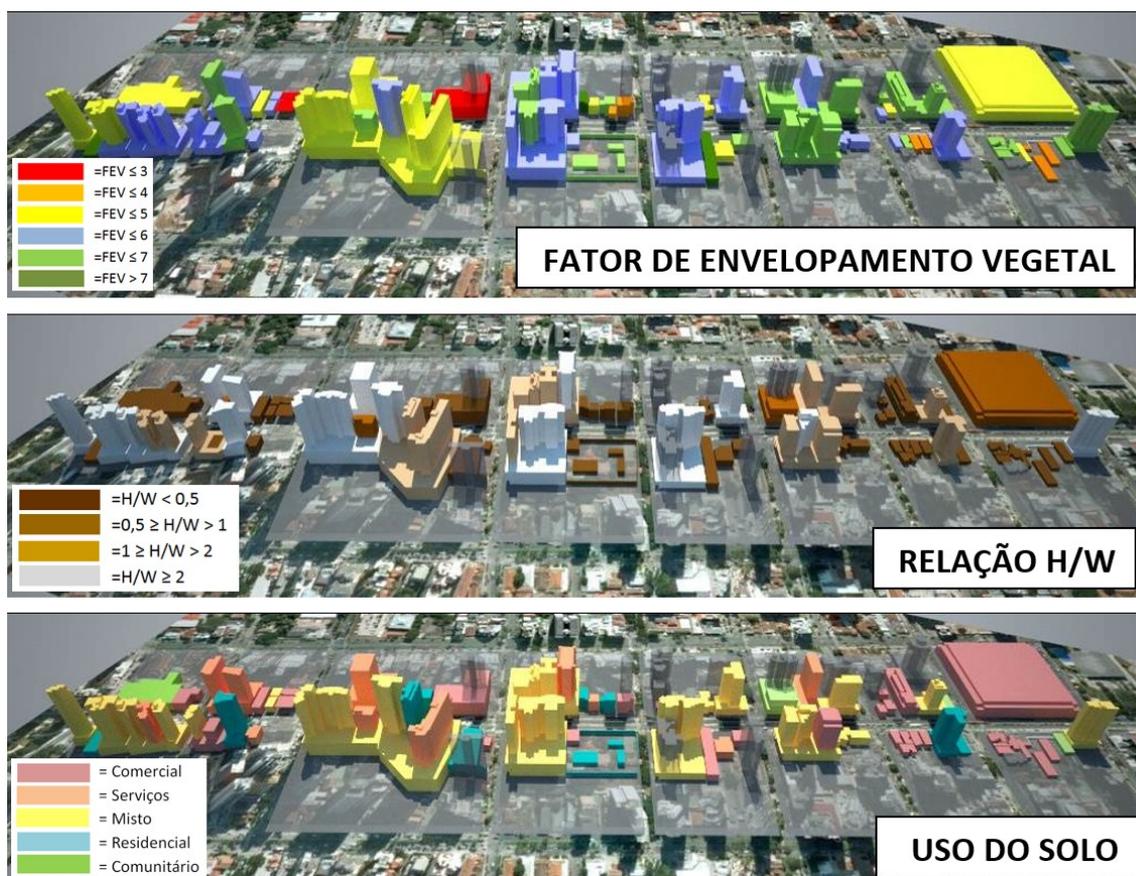
**Gráfico 4.** Relação entre usos dos edifícios e porcentagem de área potencial para envolvimento vegetal horizontal no espaço específico de análise (fonte: elaborado pelos autores).

Constata-se que os usos mais vinculados a edifícios altos – mistos e de serviços – possuem proporcionalmente menor potencial de envolvimento por superfícies vegetadas horizontais, também pela grande quantidade de infraestrutura alocada em suas coberturas.

Com relação à quantidade de vegetação disposta no lote, os usos comunitários e residenciais se destacam, com 11% e 29% de área

verde, respectivamente, o que também condiciona o resultado dos fatores de envolvimento para essas utilizações, aumentando o seu valor.

A Figura 3 apresenta o comparativo entre os fatores de envolvimento, as condições de ocupação pela relação H/W e os usos das edificações na área de estudo.



**Figura 3.** Representação volumétrica de fatores de envolvimento, condições de ocupação pela relação H/W e usos das edificações na área de estudo (fonte: elaborada pelos autores).

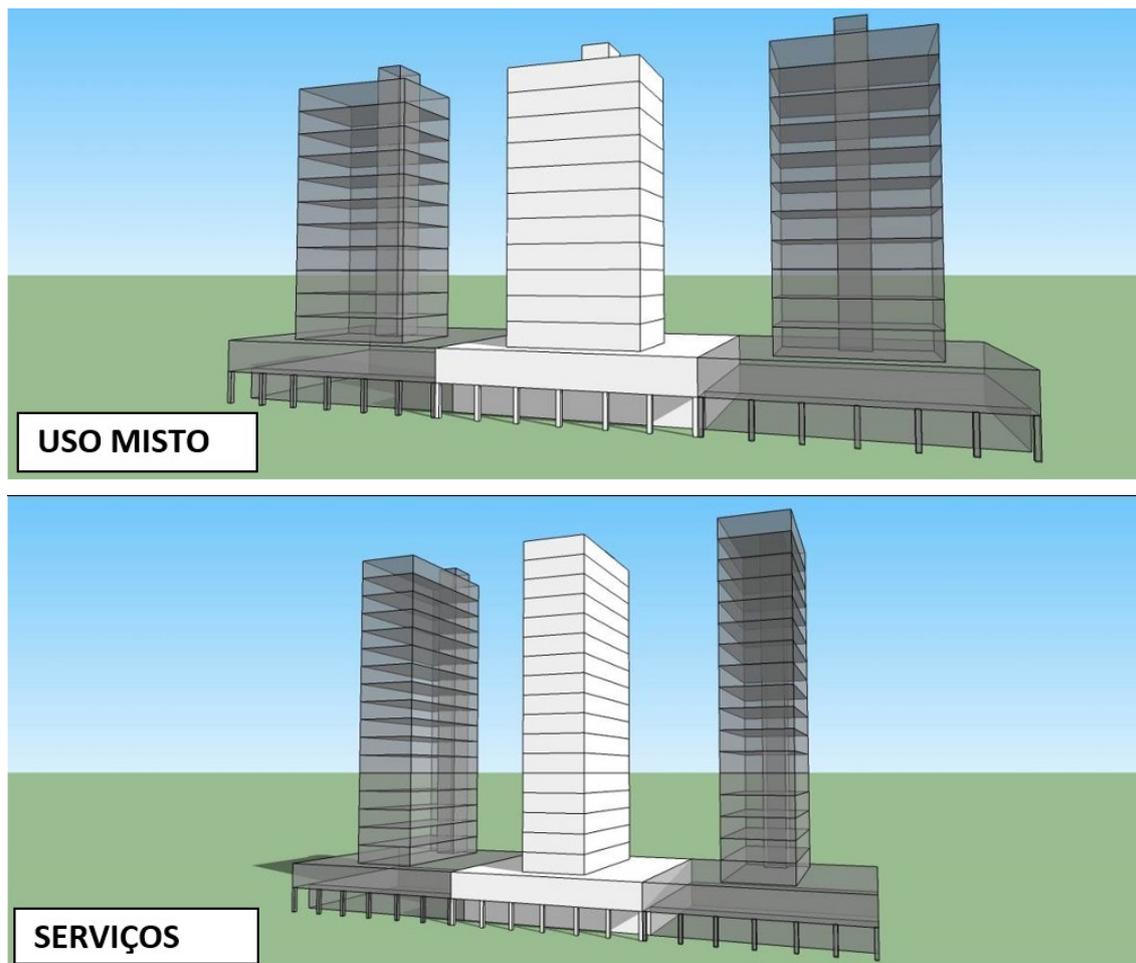
Com vistas à proposição de um fator de envolvimento vegetal para cânions urbanos de

Curitiba, foi desenvolvida, com base nos parâmetros legais de uso e ocupação do solo para

os eixos estruturais (Curitiba, 2000), a simulação do potencial máximo de envolvimento considerando o Plano Massa (Curitiba, 2000), com usos mistos e de serviços, adotando-se os potenciais construtivos adicionais para o segundo caso.

A simulação levou em consideração os parâmetros estabelecidos para testada e área mínimas do lote (15 m e 450 m<sup>2</sup>, respectivamente). Porém, observou-se que, com estes parâmetros mínimos de lote, a configuração dos cânions urbanos fica comprometida, uma vez

que o afastamento lateral de H/6, ou seja, um sexto da altura da edificação, inviabiliza edifícios com mais de 24 metros, enquadrados, desta maneira, na razão H/W menos observada na área. Portanto, adotou-se a utilização de dois lotes mínimos, com testada de 30 metros e área total do lote de 900m<sup>2</sup>, aplicando-se sobre ele os parâmetros de coeficiente de aproveitamento, taxa de ocupação e afastamentos laterais previstos em lei (Figura 4).



**Figura 4.** Representação volumétrica de edifícios com potencial construtivo básico para uso misto e serviços previsto no Plano Massa dos setores estruturais de Curitiba (fonte: elaborada pelos autores).

No primeiro caso, ao edifício de uso misto, com embasamento comercial e torre residencial, foi atribuído o coeficiente de aproveitamento equivalente a 4, referente ao embasamento mais 11 pavimentos, totalizando uma altura de 42 metros, sendo, assim, enquadrado na razão  $2 > H/W \geq 1$ , cujo potencial médio de envolvimento para fachada é de 79% e para cobertura é de 86%. Por meio de média aritmética, estes valores foram cruzados com os

do uso misto, ou seja, com potencial de envolvimento vegetal vertical de 82% e horizontal de 74%, sendo a área livre vegetável do lote igual a zero, em função dos parâmetros previstos em lei.

O mesmo raciocínio foi utilizado para o uso de serviços, com torre de escritórios e coeficiente de aproveitamento igual a 6, referente ao embasamento mais 17 pavimentos, totalizando uma altura de 60 metros, enquadrado, as-

sim, na razão  $2 \leq H/W$ , cujo potencial médio de envolvimento para fachada é de 81% e para cobertura é de 59%. Estes valores foram cruzados com os do uso de serviços, ou seja, com potencial de envolvimento vegetal vertical de 78% e horizontal de 79%, sendo a área livre vegetável do lote igual a zero, em função dos parâmetros previstos em lei.

$$F_{EV} = \frac{(A_{UV} + A_{UH}) * 0,7 + A_{LV} + A_{AI}}{A_{TV} + A_{TH} + A_{\square}}$$

Considerando estes números, o Fator de Envolvimento Vegetal da edificação padrão nas duas situações é calculado da seguinte maneira, com seus componentes detalhados na Tabela 2:

**Tabela 2.** Fator de Envolvimento Vegetal de edificação-padrão (fonte: elaborada pelos autores).

		Uso misto	Serviços
$F_{EV}$	fator de envolvimento vegetal	0,58	0,54
$A_{UV}$	área útil vertical	(80%) 1,425 m <sup>2</sup>	(80%) 2,203 m <sup>2</sup>
$A_{UH}$	área útil horizontal	(80%) 720 m <sup>2</sup>	(69%) 621 m <sup>2</sup>
$A_{VL}$	área de lote vegetada	0 m <sup>2</sup>	0 m <sup>2</sup>
$A_{AI}$	área de árvores isoladas	0 m <sup>2</sup>	0 m <sup>2</sup>
$A_{TV}$	área total vertical	1,782 m <sup>2</sup>	2,754 m <sup>2</sup>
$A_{TH}$	área total horizontal	900 m <sup>2</sup>	900 m <sup>2</sup>
$A_{LL}$	área livre do lote	0 m <sup>2</sup>	0 m <sup>2</sup>

Nota: os valores são resultantes da simulação descrita acima, utilizando como base as médias identificadas nas análises anteriores.

Com base nessa simulação, percebe-se que, em áreas a serem consolidadas nos setores estruturais de Curitiba, para os edifícios de uso misto, o fator potencial de envolvimento máximo é de 0,58, e para o uso de serviços, é de 0,54. Frente aos resultados anteriores e aos preceitos legais relativos ao tema, sugere-se o atrelamento de medidas compulsórias e de incentivos ao envolvimento vegetal nos cânions urbanos.

Com vistas à fundamentação do processo de planejamento urbano para Curitiba, sugere-se um índice mínimo de 0,2, com base no menor fator diagnosticado na área de estudo, e a partir do índice 0,3 – pouco superior a 50% dos fatores máximos encontrados na simulação anterior – para incentivos, a exemplo da redução de Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU), já previstos em algumas cidades em âmbito internacional, tais como Seattle, Estados Unidos, Dusseldorf, Alemanha, e Shanghai, China, e em alguns centros urbanos brasileiros, como São Paulo e Poços de Caldas (Ansel; Appl, 2010; Azevedo, 2011; Ngan, 2004; Seattle, 2007).

## Conclusão

Estratégias como o *Transit Oriented Development* (TOD) propõem áreas adensadas próximas aos acessos ao transporte coletivo. No caso de Curitiba, tal adensamento se deu de forma linear, com a formação de eixos que, por sua vez, tornaram-se cânions urbanos. Essa condição morfológica possui implicações ambientais indesejáveis. Todavia, a dificuldade de simulação em laboratório da realidade dessa tipologia de configuração urbanística em toda a sua complexidade tem impedido o adequado avanço do conhecimento na área, agravado pela eventual irregularidade dos cânions urbanos, ou seja, quando não possuem em todo o seu trecho a mesma relação entre altura, largura e comprimento (H/W/L).

Por outro lado, nota-se um conjunto de medidas mitigadoras indicadas para as interferências adversas dos cânions em regiões urbanizadas, dentre as quais cabe destaque à modificação da geometria urbana e à implantação extensiva de vegetação. Entretanto, em áreas de adensamento edilício consolidado, ambas se tornam impraticáveis em determinadas situações.

Neste artigo mostramos que o envolvimento vegetal constitui uma medida viável para políticas públicas voltadas à mitigação de efeitos ambientais negativos dos cânions urbanos, uma vez que existe por um lado existe área suficiente nas edificações para incorporação de vegetação, e por outro, compatibilidade dos parâmetros urbanísticos atuais com uma eventual incorporação de um fator verde da maneira como foi proposto por esse estudo.

Ainda que a seleção do espaço específico de análise, compreendendo oito quadras consecutivas da Avenida Sete de Setembro, tenha sido baseada na máxima intensidade prevista para ocupação do solo em Curitiba, ela ainda não está completamente consolidada. A heterogeneidade morfológica no trecho estudado é decorrente de se tratar de uma área antiga, com edifícios anteriores à legislação vigente, e também decorrente de recentes alterações de uso e ocupação do solo, que introduziu, por exemplo, recuos progressivos da edificação proporcionais à sua altura.

Mesmo diante da heterogeneidade morfológica diagnosticada, os fatores referentes a potenciais de envolvimento das edificações do Eixo Estrutural Centro são paradoxalmente similares para os diversos trechos analisados, levando à conclusão sobre a validade do estabelecimento de índices específicos para essa finalidade.

Assim, novamente depreende-se a forte ingerência das normas legais vigentes, que privilegiam a ampliação do potencial construtivo para uso comercial e de serviços, com consequente ampliação de superfícies passíveis de recepção de vegetação, especialmente verticais.

A proposta apresentada de criação de fator de envolvimento vegetal levou em consideração não só a extensão do lote, mas também as áreas de fachada e de cobertura, diferenciando-se, assim, dos índices pesquisados.

Para Curitiba, os resultados refletem potencial de envolvimento vegetal de até 80% e 75% das superfícies verticais e horizontais, respectivamente, excluindo-se aberturas de janelas ou portas, áreas envidraçadas e componentes de infraestrutura instalados que impossibilitem a aplicação dessas superfícies. Da mesma forma, os fatores máximos de envolvimento encontrados no trecho pesquisado são da or-

dem de 0,7, enquanto os mais baixos ficam em torno de 0,2.

Visando à interpretação das diferenças entre o trecho estudado e as áreas a serem consolidadas nos eixos estruturais de Curitiba, especialmente em função das novas regras urbanísticas citadas, a avaliação do potencial de aplicação de superfícies vegetadas em simulações de ocupação realizadas com base nos potenciais construtivos básicos do setor urbanístico em questão, permite concluir que o fator máximo de envolvimento vegetal de edificações nos setores estruturais de Curitiba são da ordem de 0,54 para edifícios de uso misto (residencial e comercial) e de 0,58 para aqueles destinados a serviços (torres de escritórios).

Por fim, ressalta-se aqui que a utilização dessa técnica de mapeamento manual das edificações se deu visando analisá-las em suas particularidades e relações com o eixo da Avenida 7 de Setembro. Porém, se mostrou pouco eficaz, imaginando a replicabilidade do processo, por conta da necessidade de desenhar os edifícios isoladamente. Numa eventual reprodução da técnica para escalas maiores, o método pode ser substituído pela utilização de ferramentas de Sistema de Informações Geográficas, ou ainda mapeamentos digitais.

Nesse sentido, afirmamos que a incorporação de um fator verde aos parâmetros urbanísticos convencionais é uma medida viável não só para Curitiba, mas também para outras cidades brasileiras que possuam configuração morfológica de Cânions Urbanos, ou ainda problemas acarretados pela escassez de vegetação no meio urbano. Para isso, aventa-se a possibilidade de adoção de outros métodos e técnicas de investigação, na busca da simplificação de procedimentos para o incentivo à sua ampla utilização, mesmo por municipalidades ainda não plenamente capacitadas para o adequado processo de gestão urbana.

## Notas

<sup>1</sup> A evapotranspiração é o conjunto de dois processos – evaporação, transformação de calor sensível em latente pela perda de água pelo solo, e transpiração, pela redução hídrica da vegetação através das folhas pelos estômatos –, os quais ocorrem concomitantemente (Silva et al., 2011).

## Referências

- Alexandri, E. e Jones, P. (2008) Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, 43(4), 480-493. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.055>.
- Ansel, W. e Appl, R. (2010) Green roof policies - an international review of current practices and future trends. Em: *International Green Roof Congress, IGRA 2010, Nürtingen, Alemanha*. Nürtingen, IGRA. pp.1-4. Disponível em: <https://doi.org/10.3850/s2382581211010167>. [Consultado em: 07 de outubro de 2017].
- Azevedo, P. M. F. (2011) Montagem de Laboratório para estudo experimental de coberturas verdes. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente. Universidade de Aveiro, Portugal. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/15568746.pdf>. [Consultado em: 14 de outubro de 2017].
- Berlin, City of Berlin. (2019), Biotope Area Factor, Disponível em: [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/landschaftsplanung/bff/index\\_en.shtml](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/landschaftsplanung/bff/index_en.shtml). [Consultado em: 25 de janeiro de 2019].
- Chun, B. e Guldmann, J. M. (2018). Impact of greening on the urban heat island: Seasonal variations and mitigation strategies. *Computers, Environment and Urban Systems*, 71(1), 165-176. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.05.006>.
- Cerveiro, R. (2006). Public transport and sustainable urbanism: global lessons. Em: *Science Council of Japan – SCJ, Tokyo, Japan, 2006. Annals*. Tokyo, SCJ pp.1-10. Disponível em: <https://escholarship.org/uc/item/4fp6x44f#main>. [Consultado em: 16 de junho de 2020].
- Curitiba. (2000). Lei Municipal N° 9.800, de 03 de janeiro de 2000. Dispõe sobre o zoneamento, uso e ocupação do solo no município de Curitiba e dá outras providências. Diário Oficial [do] Município de Curitiba, Paraná, 2000. Disponível em: <http://www.curitiba.pr.gov.br/pmc/servicos/legislacao/zoneamento/index.html>. [Consultado em: 15 fevereiro de 2018].
- Di Núbila, C., Krüger, E.; Hardt, M., Corrêa, J. N., Rose, J. L., Nascimento, E. L. F. e Tamura, C. A. (2019). Desempenho térmico de um sistema de cobertura vegetada para condições subtropicais. *Anais do XV ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído*. João Pessoa. Pp 345-360. ISBN: 978-85-89478-45-8. Disponível em: <https://www.even3.com.br/encac2019/>. [Consultado em: 18 de janeiro de 2020]
- Dias, A. R. D. (2016). Análise do impacto do sombreamento vegetal no conforto termo-luminoso em edificações no clima quente e úmido. 278f. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo não publicada, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- EPA – Environmental Protection Agency (2008). Reducing urban heat islands: compendium of strategies. Disponível em: <https://www.epa.gov/heatlands/heat-island-compendium>. [Consultado em: 12 de novembro de 2019].
- Georgakis, C. e Santamouris, M. (2006) Experimental investigation of air flow and temperature distribution in deep urban canyons for natural ventilation purposes. *Energy and Buildings*. 38(4), 367-376. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.07.009>
- Google Earth. (2019). *Imagens aéreas dos eixos estruturais de Curitiba, Paraná*. [Consultado em: 19 de junho de 2019].
- Guerra, A. J. T. e Cunha, S. B. (orgs.) (2005) *Impactos ambientais urbanos no Brasil*. 3.ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil. (Publicado originalmente em 2001)
- Gutteridge, B. (2003). Toronto's green roof demonstration project. Em: *Greening Rooftops for Sustainable Communities Symposium, Chicago, United States. Proceedings...* Chicago, GRHC. s.p. Disponível em: <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=59>. [Consultado em: 19 de março de 2019].
- Ferrari, S., Badas, M., Garau, M., Salvadori, L., Seoni, A., e Querzoli, G. (2019) On The Effect Of The Shape Of Buildings And Chimney stacks on Ventilation and Pollutant Dispersion. *EPJ Web of Conferences*, 213, 02017. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/epjconf/201921302017>.
- Hardt, L. P. A. (2006) Gestão do desenvolvimento metropolitano sustentável. Em: Silva, C. A., Freire, D. G. e Oliveira, F. J. G. (orgs.). *Metrópole: governo, sociedade e território*. Rio de Janeiro, DP&A, pp.137-149.
- Hardt, M. (2013) Envelopamento vegetal em cânions urbanos: análise da aplicação de superfícies vegetadas em edificações dos setores estruturais de Curitiba, Paraná. 282f. Dissertação de Mestrado em Gestão Urbana, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba. Disponível em: [http://www.biblioteca.pucpr.br/tede/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=2571](http://www.biblioteca.pucpr.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=2571).
- Hardt, M. (2019) Vegetação no desenho de cidades: relações entre teoria e prática na análise e

- concepção do espaço urbano. 519f. Tese de Doutorado em Gestão Urbana, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba. Disponível em: <https://arquivum.grupomarista.org.br/pergamumweb/vinculos//00007f/00007ffc.pdf>.
- Johnston, J. e Newton, J. (2004) *Building green: a guide to using plants on roofs, walls and pavements*. Londres, London Ecology Unit. (Publicado originalmente em 1993)
- Lobaccaro, G., Acero, J., Padro, A., Laburu, T. e Fernandez, G. (2019) Effects of Orientations, Aspect Ratios, Pavement Materials and Vegetation Elements on Thermal Stress inside Typical Urban Canyons. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(19), 3574. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph16193574>.
- London City (2008) Living roofs and walls technical report: supporting London Plan Policy. Londres, Greater London Authority. Disponível em: <https://www.london.gov.uk/sites/default/files/living-roofs.pdf>. [Consultado em: 15 de março de 2019].
- Malmö Stad (2019) Quality Programme Bo01 City of Tomorrow. Disponível em: [http://www.malmo.se/download/18.4a2cec6a10d0ba37c0b800012615/kvalprog\\_bo01\\_dn\\_eng.pdf](http://www.malmo.se/download/18.4a2cec6a10d0ba37c0b800012615/kvalprog_bo01_dn_eng.pdf). [Consultado em: 20 de janeiro de 2019].
- Mutani, G. e Todeschi, V. (2020) The Effects of Green Roofs on Outdoor Thermal Comfort, Urban Heat Island Mitigation and Energy Savings. *Atmosphere*, 11(2), p.123. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/atmos11020123>.
- Ngan, G. (2004) *Green roof policies: tools for encouraging sustainable design*. Toronto, Landscape Architecture Canada Foundation – LACF.
- Oke, T. R. (1978) *Boundary layer climates*. New York, Methuen.
- Panão, M. J. N. O., Gonçalves, H. J. P. e Ferrão. P. M. C. (2009) Numerical analysis of the street canyon thermal conductance to improve urban design and climate. *Building and Environment*, 44(1), 177-187. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.02.004>.
- PMC – Prefeitura Municipal de Curitiba. (2010). *Planta cadastral do município de Curitiba*. Curitiba, Prefeitura Municipal de Curitiba.
- Pugh, T. A. M., Mackenzie, R. A., Whyatt, D. J. e Hewitt, N. C. (2012) Effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons. *Environmental Science & Technology*. 46(14), 7692–7699. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/es300826w>.
- Rogers, R. e Gumuchdjian, P. (eds.) (2016) *Cidades para um pequeno planeta*. Tradução de Anita Regina Di Marco. 2.ed. Barcelona, Gustavo Gili. (Publicado originalmente em 1995)
- Romero, M. A. B. (2016) *Arquitetura bioclimática do espaço público*. 4.ed. Brasília, Editora da Universidade Nacional de Brasília – UnB. (Publicado originalmente em 2000)
- Sapata, A. M. A. (2010) Monitoramento, modelagem e simulação dos impactos e efeitos do ruído de tráfego em trecho de cânion urbano da Avenida Horácio Racanello da cidade de Maringá – PR. 120f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá. Disponível em <http://www.peu.uem.br/Ana2.pdf>.
- Seattle City (2007) *Green Factor*. Disponível em: <http://www.seattle.gov/dpd/cityplanning/completenesslist/greenfactor/documents/default.htm>. [Consultado em: 20 de março de 2019].
- Silva, A. C., Lima, L. A., Evangelista, A. W. P. e Martins, C. P. (2011) Evapotranspiração e coeficiente de cultura do cafeeiro irrigado por pivô central. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 15(12), 1215–1221. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1415-43662011001200001>.
- Speak, A. F., Rothwell, J. J., Lindley, S. J., Smith, C. L (2012) Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city. *Atmospheric Environment*, 61(1), 283-293. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.07.043>.
- Suga, M. (2005) Avaliação do potencial de aproveitamento de luz natural em cânions urbanos: estudo realizado nos eixos estruturais de Curitiba. 211f. Dissertação de Mestrado em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba. Disponível em: <http://www.utfpr.edu.br/cursos/coordenacoes/stricto-sensu/ppgte/defesas/ppgte-mestrado-mauro-suga>
- Valesan, M. (2009) Percepção Ambiental de moradores de edificações residenciais com peverde em Porto Alegre. 178f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/23933>.

## Tradução do título, resumo e palavras-chave

*Green enveloping in urban canyons: an analysis of the application of vegetated surfaces in buildings of the BRT corridor in Curitiba, Brazil*

**Abstract.** Generically interpreted as corridors with aligned buildings on both sides of a certain street, urban canyons are one of the main morphological features of contemporary cities that present linear axes of densification associated with the urban movement system, often resulting in adverse environmental implications to urban areas. Based on the central hypothesis that vegetal enveloping of building surfaces is a viable procedure for public policies aimed at mitigating the deleterious effects of urban canyons, the overall goal of the research consists in analyzing the potential of this solution applied to that urban morphological configuration, leaning on the case study of the structural sectors of Curitiba, Brazil. From the interpretation of the internal spatial structure of each section and the integrated analysis of the whole set, the evaluation of the enveloping potential of the buildings in the study area enables the proposition of a Vegetal Enveloping Factor (VEF) minimum of 0,2 to overlay buildings and of 0,3 to obtain indirect incentives.

**Keywords:** urban canyons. densification axes. vegetal enveloping, vegetated surfaces.

*Editor responsável pela submissão: Vinicius de Moraes Netto.*

*Licenciado sob uma licença Creative Commons.*

