



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



Matheus Pereira dos Santos

ANÁLISE DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO DE UM PARQUE VERTICAL EM
EDIFICAÇÕES MULTIPAVIMENTOS EM MADEIRA

Uberlândia, 2019.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

Matheus Pereira dos Santos

**ANÁLISE DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO DE UM PARQUE VERTICAL EM
EDIFICAÇÕES MULTIPAVIMENTOS EM MADEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau em Engenharia Civil.

Orientadora: Maria Cristina Vidigal de Lima

Uberlândia, 2019.

Matheus Pereira dos Santos

**ANÁLISE DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO DE UM PARQUE VERTICAL EM
EDIFICAÇÕES MULTIPAVIMENTOS EM MADEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau em Engenharia Civil.

Orientadora: Maria Cristina Vidigal de Lima

Uberlândia, 2019.

Resumo

Há uma crescente redução de áreas arborizadas nas cidades e um aumento de construções verticais, fazendo-se necessária a criação de alternativas para amenizar os impactos causados por esses fatores, uma vez que ilhas de calor têm aumentado e a qualidade do ar diminuído em centros urbanos. Considerando esse cenário, propôs-se a análise de Custo/Benefício de um Parque Vertical de multipavimentos em madeira no bairro Campos Elíseos, em São Paulo (SP), um bairro com adensamento vertical mediano, porém com precariedade da preservação ambiental, fazendo com que sua temperatura média seja até 8 °C maior do que bairros bem arborizados de São Paulo. A proposta de edificação contempla as soluções verdes Telhado Verde, *indoor potting plants* e Fazenda Vertical em seu escopo. Baseando-se em pesquisas anteriores, quantificou-se os custos de implementação e manutenção e os benefícios sociais e privados do projeto, como por exemplo compensação de carbono e redução de enchentes. Uma vez quantificados os custos e benefícios do projeto, calculou-se o Valor Presente Líquido (VPL) através da Simulação de Monte Carlo, considerando um Desvio Padrão de 10% em relação ao estimado inicialmente. Da análise, encontrou-se um cenário favorável para a implementação do projeto com uma relação de Custo/Benefício de 1,77 e VPL de cerca de 10 milhões. Isso é bem expressivo, pois conclui-se ser possível construir uma edificação sustentável com retorno financeiro, só sendo possível com a contribuição dos benefícios sociais e a venda da produção da Fazenda Vertical.

Palavras-chave: Parque Vertical, análise de Custo/Benefício, Simulação de Monte Carlo, Edificação em Madeira, benefícios ambientais.

Abstract

There is a growing reduction of wooded areas in cities and an increase in vertical constructions, making it necessary to create alternatives to mitigate the impacts caused by these factors, as heat islands have increased and air quality has declined in urban centers. Considering this scenario, it was proposed a Cost / Benefit analysis of a Wood Multi-floor Vertical Park in the Campos Eliseos' neighborhood, in São Paulo (SP), a neighborhood with medium vertical density, but with precariousness of environmental preservation. Its average temperature is up to 8 ° C higher than well-wooded neighborhoods of Sao Paulo. The building proposal includes the Green Roof Green solutions, indoor potting plants and Vertical Farm in its scope. Based on previous research, the implementation and maintenance costs and the social and private benefits of the project such as carbon offsetting and flood reduction have been quantified. Once the project costs and benefits were quantified, the Net Present Value (NPV) was calculated through the Monte Carlo Simulation, considering a Standard Deviation of 10% compared to the initially estimated. From the analysis, a favorable scenario for project implementation was found with a cost / benefit ratio of 1.77 and NPV of about 10 million. This is very expressive, since it is concluded that it is possible to build a sustainable building with financial return, being possible only with the contribution of social benefits and the sale of the production of Vertical Farm.

Keywords: Vertical Park, Cost / Benefit Analysis, Monte Carlo Simulation, Wood Building, Environmental Benefits.

Sumário

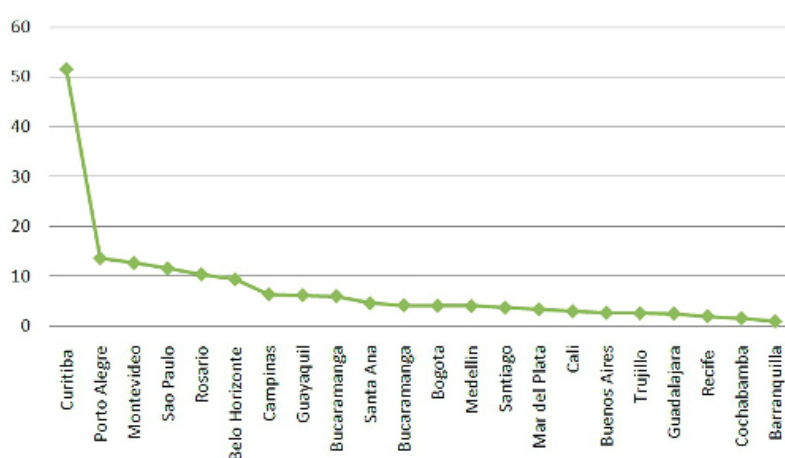
1 Introdução.....	7
2 Objetivos.....	9
2.1 Objetivo Geral	9
2.2 Objetivos Específicos	9
3 Revisão Bibliográfica	10
1.1. Coberturas Verticais	10
3 Desenvolvimento	24
3.1. Custo de construção da edificação	27
3.2. Custo de manutenção da edificação	27
3.3. Custo de implantação das soluções verdes	28
3.4. Custo de manutenção das soluções verdes.....	28
3.5. Benefícios da edificação	29
3.6. Benefícios das soluções verdes	29
3.6.1. Benefícios privados	29
3.6.2. Benefícios sociais	31
3.6.3. Análise probabilística de Custo Benefício	31
3 Análise dos Resultados.....	34
3 Conclusões e Considerações Finais	38
REFERÊNCIAS	40
ANEXO A	46
ANEXO B	47

1 Introdução

Com o desenvolvimento das sociedades e o aumento da urbanização, tem-se visto a diminuição de espaços verdes em cidades no contexto global. Do ponto de vista construtivo, as áreas destinadas ao verde têm sido reduzidas aos índices mínimos previstos nos lotes e a efetiva execução de praças ou parques estão cada vez mais escassas (SCHERER; ALVES; REDIN; 2018). Em contrapartida, a qualidade de vida dos habitantes de cidades tem diminuído, com o surgimento de ilhas de calor e ocorrências de alagamentos devido a mudanças da ocupação e permeabilidade do solo.

A todo momento, unidades imobiliárias são lançadas, mesmo em tempos de crise econômica, lançamentos residenciais cresceram 30,1% no terceiro trimestre de 2018 versus o mesmo período de 2017 (NAKAMURA, 2019), isso aponta um aumento de densidade de construções nas cidades. Em contrapartida, segundo Frayssinet (2015), sob a meta de 12 m² de área verde por habitante apontada pela Organização Mundial de Saúde (OMS), apenas Curitiba, Porto Alegre e Montevidéu, apresentaram índices positivos dentre as maiores cidades latino-americanas (Figura 1).

Figura 1: Valor em m² de espaços verdes por habitante na América Latina



Fonte: Frayssinet (2015)

Nesse contexto, diversos agentes da Construção Civil têm atuado para melhorar a sinergia entre o verde e as edificações urbanas. Além das já difundidas *green certifications*, certificações que regulamentam e avalizam o status de construção sustentável para edificações com características que amenizam seu impacto no Meio Ambiente, tais como eficiência do uso da água e qualidade ambiental interna (THOMÉ, 2019), metodologias para a integração de vegetações com edificações têm sido testadas como ferramenta para melhoria da qualidade de vida de usuários urbanos.

Não obstante, de maneira geral, ainda está incipiente a promoção de soluções verdes de uma maneira quantitativa e comparativa num contexto de mercado. Baseados apenas em índices abrangentes sobre as mudanças climáticas, projetos têm sido lançados e muitas vezes não tem atraído interesse de investidores devido a sua não comprovada viabilidade econômica.

Para tanto, uma das melhores maneiras de atrair investimentos ostensivos a soluções e edificações que impactam positivamente o desenvolvimento sustentável de grandes cidades e colaboram para a manutenção da biodiversidade urbana é analisar a viabilidade econômica de um investimento entendendo quais os retornos financeiros são possíveis ao longo de sua vida útil, tal qual é praticado com empreendimentos convencionais.

Neste contexto, este trabalho de conclusão de curso trata do estudo da relação custo-benefício de um parque vertical em edificações multipavimentos em madeira. A edificação considerada situa-se no bairro de Campos Elíseos, São Paulo (SP), e receberá a implementação de soluções verdes com o intuito de melhorar a qualidade ambiental de um bairro em alto processo de urbanização. Para isso, serão usados métodos estatísticos na avaliação da viabilidade do projeto.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar a viabilidade econômica de um parque vertical de múltiplos andares em madeira através da relação custo benefício

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos podem ser agrupados como segue:

- Analisar o Estado da Arte no contexto de edificações de múltiplos andares e edificações com finalidade de Parque Vertical;
- Quantificar os benefícios de implementação de uma solução verde no contexto urbano;
- Propor e analisar a relação custo benefício através de métodos simulatórios e estatísticos.

3 Revisão Bibliográfica

Desde o fim do século XX, a comunidade da construção civil vem se engajando cada vez mais na temática sustentável, dessa forma, soluções construtivas têm sido propostas, edificações mais integradas com o meio ambiente têm sido lançadas e materiais tradicionais têm sido modificados para conter seus impactos nocivos.

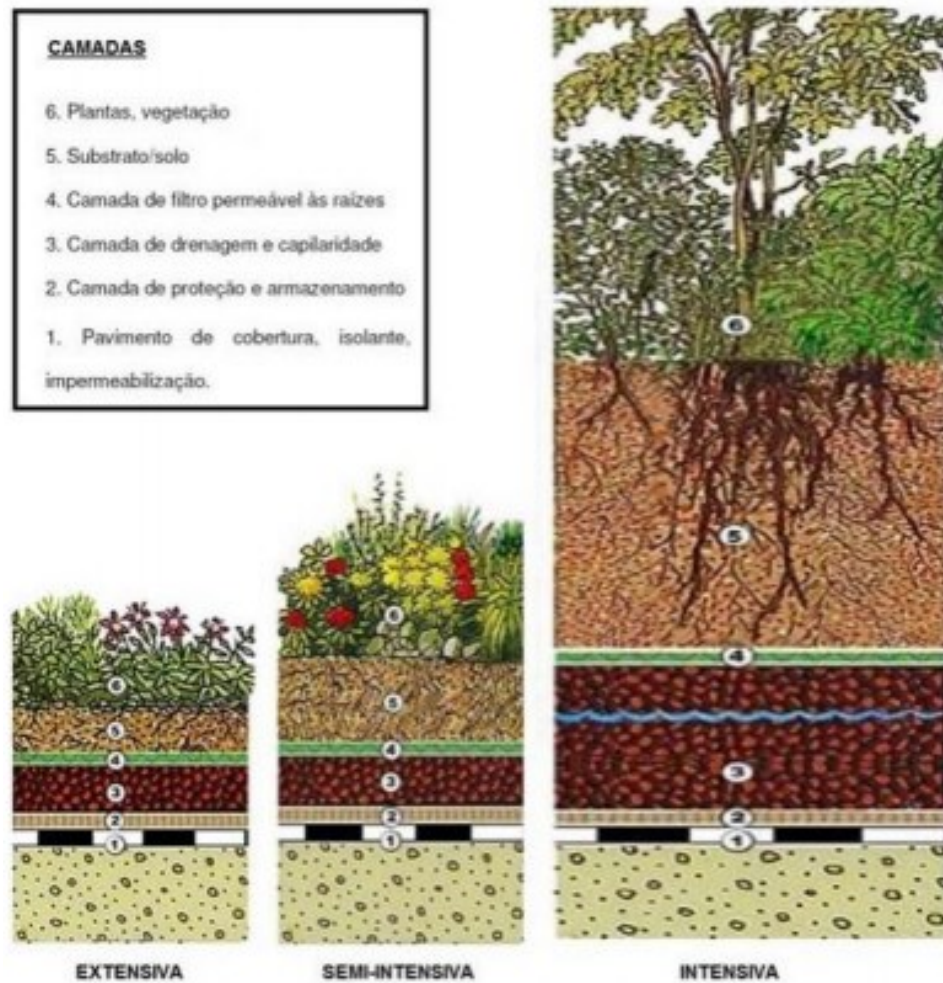
Nesse contexto, foram pesquisadas e revisadas quanto a seu estado da arte atual quatro soluções: coberturas verticais, jardins verticais, *indoor potting plant* e fazendas verticais. Buscou-se estudos de caso realizados no século XXI e na América, Europa e Ásia. Como tópicos de pesquisa, foram definidos: conceito, presença nos continentes citados, vantagens e custo benefício.

1.1. Coberturas Verticais

Sistemas multicamadas lançados sobre lajes e/ou telhados, as coberturas verticais, também chamadas de telhados verdes, permitem o cultivo de plantas através de técnicas construtivas que remontam ao século V a.C., quando foram construídos os célebres jardins suspensos na Babilônia e Mesopotâmia e também ao Império Romano, onde mausoléus eram construídos com árvores em seu topo.

Recentemente, países centro-europeus intensificaram pesquisas no tema e introduziram a metodologia construtiva utilizada atualmente. Segundo ela, há três tipos de telhado verde: intensivo, extensivo e semi-intensivo. Eles se diferenciam, principalmente, pelo porte da vegetação escolhida. Vegetações de porte arbustivo a arbóreo são utilizadas no sistema intensivo, vegetações rasteiras (gramíneas), no sistema extensivo e o misto de gramíneas com arbustos no sistema semi-intensivo, como ilustrado na Figura 2. Disso, derivam-se outras diferenças entre os sistemas, apresentadas no Quadro 1

Figura 2: Camadas utilizadas nos sistemas de cobertura vertical



Fonte: Savi (2012)

Quadro 1: Diferenças entre Sistemas de Coberturas Verticais

Itens	Telhado verde Extensivo	Telhado verde Semi Intensivo	Telhado verde Intensivo
Manutenção	Baixo	Periodicamente	Alto
Irrigação	Não	Periodicamente	Regulamente
Plantas	Sedum, ervas e gramíneas	Gramas, ervas e arbustos	Gramado, arbustos e árvores
Altura do Sistema	6 - 20 cm	12 - 25cm	15 - 40cm
Peso	60 - 150 kg/m ²	120 - 200 kg/m ²	180 - 500 kg/m ²
Custos	Baixo	Meio	Alto
Uso	Camada de proteção ecológica	Projetado para ser um telhado verde	Parque igual a um jardim

Fonte: Shan (2017)

A utilização dessa técnica construtiva tem se ampliado e foi identificada nos quatro continentes pesquisados. Alarmada por terem passado os dez anos mais quentes de sua história nos últimos 25 anos (MSS, 2018), Cingapura lançou a meta de que 80% de suas construções sejam verdes até 2030, já tendo alcançado cerca de 600 mil metros quadrados de coberturas verdes (YUREK, 2013). Enquanto isso, só em 2019, nos Estados Unidos foram instalados cerca de 289 mil metros quadrados (TELHADOS VERDES, 2019). Já no Brasil, o uso ainda é incipiente, mas já se tornou lei para prédios de mais de quatro pavimentos em Recife (Lei Nº 18.112/2015).

A utilização dessa solução tem trazido diversos benefícios aos usuários de edifícios que a adotaram, tais como diminuição de ilhas de calor (entorno do edifício), retenção de água da chuva e, conseqüentemente, diminuição de enchentes no entorno da edificação e diminuição da temperatura no interior do edifício (AFRIN, 2009).

Estudos apontam que uma cobertura vertical, diminui em média 2 °C no interior da edificação, resultando numa economia com gastos de ar condicionado de R\$ 10,76/kWh/metro quadrado/ano¹ (YAMADA, 2008).

É sabido que ganhos ecológicos são difíceis de se quantificar, porém ao se apresentar uma solução desse tipo face a uma cobertura de edificação convencional, seus custos de implantação ganham importância. Variando entre R\$88,00 e R\$ 150,00, um telhado verde custa o dobro de uma laje impermeabilizada (UGREEN, 2019). Assim, valores de implantação e manutenção da solução fazem com que a relação benefícios e custos tenha alto valor de análise (LILAUWALA e PECK, 2017).

Shin e Kim (2019), por exemplo, elencaram e quantificaram diversas variáveis para analisar o custo benefício da instalação de telhados verdes em Seul (Coreia do Sul) em quatro cenários comparando-se com o cenário com coberturas convencionais (Quadro 2).

Quadro 2: Resumo dos cenários de análise para instalação de telhados verdes em Seul

	Cenários	N. ° de edifícios	Área	Área (%)
Cenário A	Sem ação sobre os telhados	-	-	-
Cenário B	Apenas prédios públicos	201	289.259,69	10,05
Cenário C	100% dos edifícios	19.365	2.878.028,64	100
Cenário D	Público: todos; Privado: área de telhado > 99 m ²	7.192	2.369.965,68	82,35
Cenário E	Público: todos; Privado: área de telhado > 99 m ² e < 10 anos de idade	538	434.788,33	15,11

Fonte: Adaptado de Shin e Kim (2019)

¹ Gasto médio de uma residência da Califórnia (EUA) com energia elétrica

Levando-se em consideração, custos de instalação, inspeção, manutenção e retirada após 20 anos de uso e benefícios ambientais, de sequestro de carbono, gerenciamento de enchentes, qualidade do ar etc., o estudo de Shin e Kim (2019) chegou a conclusões interessantes: o cenário com maior custo benefício foi o de maior número de edificações consideradas (Cenário C), todavia o segundo cenário com melhor custo benefício foi o de menor número de edificações (Cenário B), isso é devido a premissa do estudo de unitarizar alguns custos por prédio (Quadro 3).

Quadro 3: Análise de custo benefício da inst. de telhados verdes em Seul¹

	Cenário B		Cenário C		Cenário D		Cenário E	
	Valor Original	Valor Descontado	Valor Original	Valor Descontado	Valor Original	Valor Descontado	Valor Original	Valor Descontado
Custo Total	47.043	95.993	473.307	981.050	387.107	789.007	70.781	144.395
Benefício Total	6.742	92.853	83.640	1.151.900	51.072	703.369	9.364	128.960
Delta Benefício	- 40.301	- 3.140	- 389.668	- 170.850	- 336.035	- 85.638	- 61.418	- 15.436
Índice de Custo Benefício	0,97		1,17		0,89		0,89	

Fonte: Adaptado de Shin e Kim (2019).

Breuning (2015) nos mostra ainda a importância de se poder quantificar certos ganhos, já que como no estado de Maryland (EUA) não há ganhos monetários com a diminuição de enchentes no entorno do edifício, o custo benefício de sua análise para a construção de um telhado verde extensivo ficou menor do que 1, cerca de 0,97.

1.2. Paredes Vegetadas

Jardim vertical ou parede vegetada é a solução construtiva onde se revestem paredes, muros e fachadas com vegetações. Barbosa e Fontes (2016) relatam que jardins verticais também eram utilizados no Império Romano, onde os muros dos palácios eram recobertos com videiras, caracterizando a primeira forma de fachada verde como se conhece hoje. Essa técnica só voltou a ser expressiva a partir do século XX, com o movimento pelas cidades-jardim, visando a integração do jardim com a construção. Esse movimento foi responsável pela construção de mais de 245 mil metros quadrados de paredes vegetadas entre 1983 e 1997 em Berlim. Não obstante a popularização mundial dessa técnica ocorreu no início do século XXI, com o botânico Patrick Blanc e suas paredes vivas (Figura 3).

¹ Valores em Wons (moeda sul coreana que equivale US\$ 0,00086)

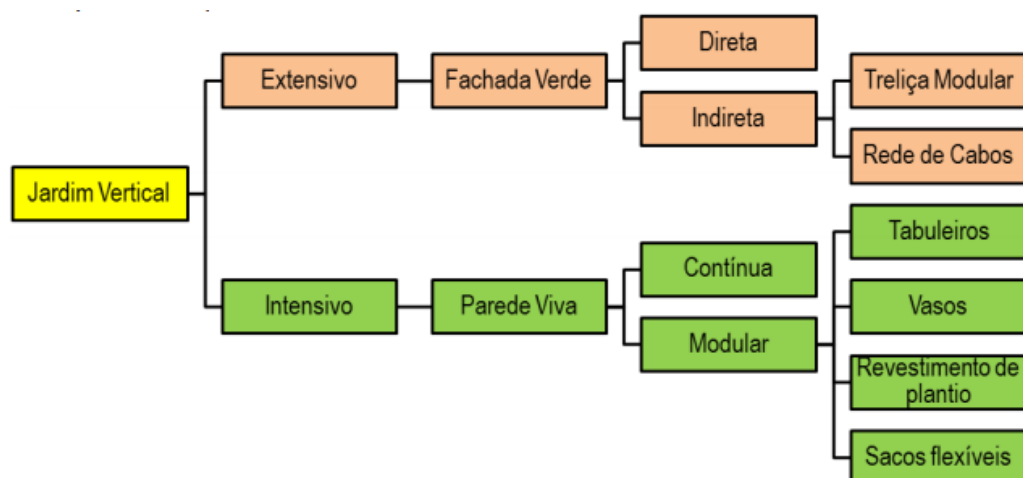
Figura 3: Fachada do edifício Le Nouvel (Kuala Lumpur)



Fonte: Nouvel (2016)

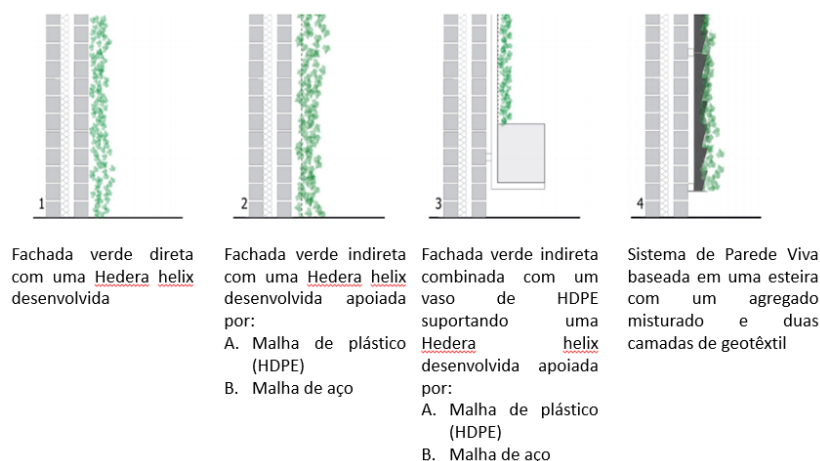
O termo “jardim vertical”, como categoria mais abrangente, pode ser dividido em duas tipologias principais: fachadas verdes e paredes vivas/*living walls* (BARBOSA e FONTES, 2016). Essas podem ser classificadas de acordo com a complexidade construtiva e de manutenção, donde as fachadas verdes são sistemas extensivos (de fácil construção e manutenção) e as paredes vivas sistemas intensivos (de construção e manutenção mais complexas). Além disso, elas podem ser subdivididas de acordo com a técnica construtiva, segundo fluxograma da Figura 4 e também ilustrado na Figura 5.

Figura 4: Classificação dos sistemas de jardins verticais baseada nas características construtivas



Fonte: Barbosa e Fontes (2016).

Figura 5: Exemplos das diferenças de instalação de subssistemas de Jardins Verticais



Fonte: Adaptado de Perini e Rosasco (2014).

Em se tratando de uma solução bastante difundida até mesmo como elemento arquitetônico, foram identificados estudos de caso nas quatro regiões pesquisadas. Na Europa, o botânico precursor das paredes vivas Patrick Blanc tem projetos nos mais diversos tipos de estabelecimentos, por exemplo o Oásis D'Aboukir, em Paris (Figura 6).

Figura 6: Oásis D'Aboukir, em Paris



Fonte: Blanc (2019).

No Brasil, há o exemplo notório da cidade de São Paulo dos anos 2012-16. Sob a gestão do prefeito Fernando Haddad, com o Decreto 55.994 de 2015, a compensação ambiental foi aplicada na utilização de jardins verticais como novos componentes da paisagem construída. Dessa forma, o entorno do Elevado Presidente João Goulart foi totalmente remodelado, vários prédios receberam jardins verticais idealizados e construídos pelo Movimento 90° (Figura 7).

Figura 7: Paisagem do elevador Presidente João Goulart (São Paulo/SP)



Fonte: Estadão (2019)

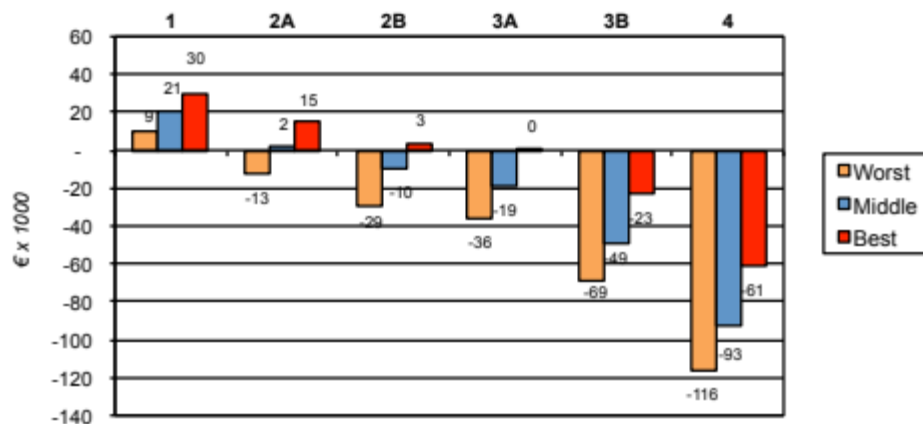
Não obstante devido a descontinuações nos incentivos públicos por parte das gestões subsequentes e seu alto custo de manutenção atrelado, os condôminos dos prédios beneficiados com a instalação de jardins verticais têm pedido sua retirada (ESTADÃO, 2019).

Muito em função do alto custo de instalação e manutenção, é imprescindível analisar o custo benefício da solução Jardim Vertical (BARBOSA e FONTES, 2016). Seus benefícios são bem conhecidos e bem semelhantes aos do Telhado Verde: redução dos impactos da poluição (melhoria da qualidade do ar e sensação térmica no interior da edificação) e volume de escoamento superficial, são alguns exemplos.

Perini e Rosasco (2014) compararam o custo benefício das principais subdivisões de Jardim Vertical e, depois de levantar ganhos com melhoria da qualidade do ar, redução de emissão de carbono, mitigação de ilhas de calor, impacto estético, criação de habitat e taxas de incentivo, identificaram, para um cenário hipotético em Gênova, na Itália, a viabilidade econômica de cada subdivisão de Jardim Vertical (Figura 8):

- Fachada Verde Direta: sustentável para todos os cenários assumidos;
- Fachada Verde Indireta com malha HPDE: sustentável para intermediário e melhor cenários;
- Fachada Verde Indireta com malha em aço: sustentável para todos os cenários;
- Fachada Verde Indireta com vasos HDPE: sustentabilidade econômica mínima no melhor cenário;
- Fachada Verde Indireta com vasos em aço: sustentabilidade econômica mínima no melhor cenário;
- Sistema Parede Viva: insustentável economicamente.

Figura 8: Valor Presente Líquido (VPL) de cada solução para as três hipóteses



Fonte: Perini e Rosasco (2014).

Numa análise mais simplista, onde foram considerados apenas ganhos com geração de resfriamento de uma escola em Dubai, de clima quente, Haggag e Hassan (2015) concluíram que apesar de economizar 18% em consumo de energia se comparada com uma parede convencional, uma solução de Parede Viva não é viável dado seu payback de 13 a 17 anos (a depender do método local de obtenção de energia).

1.3. Indoor Potting Plants

Com o objetivo de construir edificações que abriguem um volume maior de vegetações do que as soluções já apresentadas, além da melhor integração com a estrutura das edificações, partindo do paisagismo de interiores, diversos arquitetos têm aprimorado a técnica construtiva de evasamento de plantas no interior/exterior de edificações multipavimentos, ou *indoor potting plants*.

Para as regiões pesquisadas, não foi identificada nenhuma edificação que fizesse uso da técnica de forma significativa em seu interior. Não obstante, Stefano Boeri (2014), em seu Bosque Vertical de Milão (Figura 9), lançou mão da técnica para abrigar 780 árvores e 11000 plantas perenes e rasteiras nas sacadas do edifício (Figuras 10 e 11). Isso equivale a 20.000 m² de floresta e vegetação rasteira.

Figura 9: Bosque Vertical de Milão



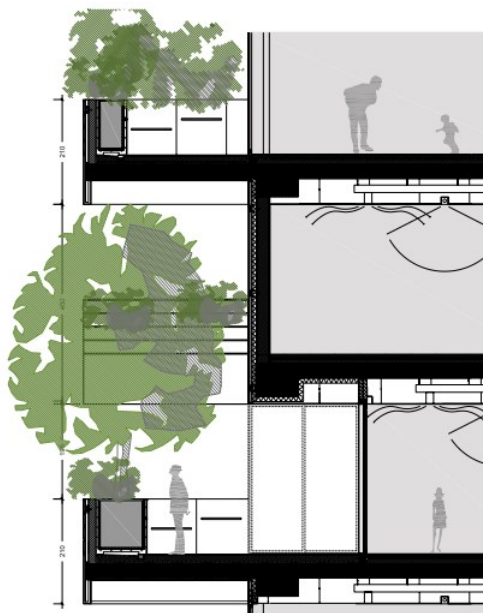
Fonte: ArchDaily Brasil (2015)

Figura 10: Técnica de *indoor potting plant* utilizada no Bosque Vertical de Milão



Fonte: Giacomello (2015)

Figura 11: Corte de uma sacada com árvores envasadas



Fonte: Giacomello (2015)

Há, também, diversos projetos que estão em fase de construção pelo mundo, tais como a Rodovia 50 de Moganshan, Xangai, na China, e a Cidade Floresta de Liuzhou, também na China (Figuras 12 e 13) que farão uso da técnica no interior do edifício.

Figura 12: 50 Moganshan Road



Fonte: Guardian (2016)

Figura 13: Liuzhou Forest City



Fonte: Carter (2017)

As vantagens de lançar mão do *indoor potting plants* vão além da estética, atualmente, plantas são benéficas para a edificação e seus usuários em inúmeras maneiras, além de ser um importante elemento para prover ambientes agradáveis tranquilos e com menos ruído. Uma

pequena cerca viva de interior, por exemplo, se posicionada no entorno de um escritório pode reduzir o barulho em 5 decibéis (AFRIN, 2009). Isso é bem expressivo e pode ajudar no bem-estar dos trabalhadores, impactando positivamente em sua produtividade. Gilhooley (2002) apontou que trabalhadores que passavam a jornada de trabalho em ambientes com plantas eram 12% mais produtivos e menos estressados do que o grupo de controle que trabalhava em ambientes sem plantas. O modo como esse aumento de produtividade ocorre perpassa pelo aumento de qualidade de ar que plantas provêm. Ambientes com plantas contêm entre 50 e 60% menos fungos e bactérias do que ambientes sem plantas (WOLVERTON, 1996).

No tocante a custos de instalação e manutenção, para o caso encontrado, Bosque Vertical de Milão, foram dispendidos 1.950 euros/m² em sua construção, além de 63 euros/m²/ano para sua manutenção, em contrapartida, os apartamentos foram vendidos a um preço médio de 9.750 euros/m² versus 8.125 euros/m² de uma edificação convencional no centro da cidade (GREENROOFS, 2019). Por se tratar de uma solução recente, quantificações de custo benefícios ainda estão incipientes.

1.4. Fazenda Vertical

Uma parcela significativa de pesquisadores e projetistas está buscando entender o modo como as sociedades futuras vão se relacionar com os alimentos e sua produção, uma vez que cada vez menos ter-se-á espaços utilizáveis para a agricultura.

Uma solução já palatável para a problemática é a produção de alimentos dentro das edificações, onde cada andar de um prédio pode abrigar plantações de vegetais. Esse conceito de Fazenda Vertical foi melhor consolidado pelo professor americano Dickson Despommier entre a década de 1980 e 90 (CRUMPACKER, 2018).

Apesar de já existir há séculos hortas em terraços construídas e mantidas por famílias e restaurantes, uma Fazenda Vertical vai além e massifica a produção de insumos alimentares utilizando toda uma edificação para tal finalidade. O primeiro exemplar foi construído em Cingapura, no ano de 2009 (Figura 14). Hoje a primeira unidade Sky Urban Solutions produz de 5 a 10 vezes mais comida do que os processos formais de agricultura usando a mesma quantidade de espaço e 75% menos força de trabalho (GREEN BUILDER, 2016). Além disso, é uma boa solução para regiões com déficit de distribuição de água, já que a reutilização de água para fertilização é possibilitada por um sistema de reservatórios e serpentinas.

Outro exemplo encontrado é a sede da Agripolis, prédio a ser aberto no meio de 2020 com 14 mil metros quadrados que produzirá quase uma tonelada de frutos e vegetais na alta temporada (Figura 15).

Figura 14: Fazenda Vertical em Cingapura



Fonte: Sheffield (2017)

Figura 15: Sede da Agripolis em Paris



Fonte: Curbed (2019).

Não foram encontradas análises de custo benefício bem fundamentadas, no entanto Banerjee e Adenaeuer (2013) analisaram a viabilidade econômica de uma fazenda vertical a ser construída em Berlim e concluíram que ao se investir 200 milhões de euros em uma fazenda vertical de 37 andares projetada sobre 2.000 m², seria possível se equiparar a produção de 3000 fazendas convencionais a longo prazo. Todavia o custo de produção de alimentos de uma fazenda vertical ainda é quase cinco vezes maior de uma fazenda convencional: 0,65 versus US\$ 3,07/lb (TASGAL, 2019). Para maior competitividade da solução serão necessários maiores investimentos em tecnologia.

1.5. Parque Vertical

Ao entender como as soluções construtivas estão sendo propostas para edificações cada vez mais integradas com vegetações é possível vislumbrar um equipamento urbano que pode unir tudo que foi apresentado até aqui: Parque Vertical. Em similaridade com o conceito de Fazenda Vertical e lançando mão das técnicas de Telhado Verde, Parede Vegetada e *indoor potting plants*, Parques Verticais são edifícios públicos que têm o objetivo de reabilitar ambientalmente áreas densificadas e com baixos índices de qualidade do ar e térmico. Têm pululado pelo mundo diversos projetos desse tipo, como exemplo o projeto do Parque Vertical de Fontvieille, no Principado de Mônaco (Figura 16), onde o objetivo é ter uma edificação que reabilite uma área degradada e reduza os efeitos de ilhas de calor em 3 a 4 °C (WILCOX, 2015).

Figura 16: Parque Vertical de Fontvieille



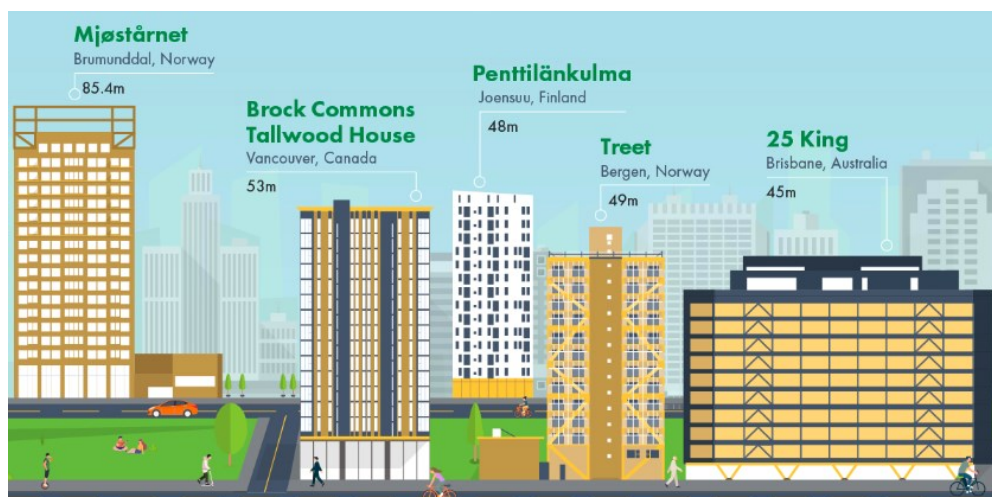
Fonte: Baldwin (2019)

1.6. Edifícios em Madeira

Por fim, concentremo-nos no modo como tais inovações construtivas são erigidas, já que são soluções que visam aumentar a presença do meio ambiente no contexto urbano. Até aqui foram apresentados projetos feitos em concreto armado, porém, de acordo com Vicari e Valverde (2014), cimento e aço estão entre os três maiores consumidores de energéticos da indústria nacional, conflitando com o desenvolvimento sustentável proposto. Concreto, Aço e Alvenaria respondem sozinhos por 16% do consumo global de combustíveis fósseis (LEUSCHEL, 2019). Logo, faz-se necessário buscar materiais construtivos que estejam em linha com o objetivo da edificação. Daí surge a madeira, material construtivo renovável que consome 83% a menos energia em sua fabricação que o concreto armado e 94% que o aço.

Apesar de ser um material estrutural com uso ainda incipiente no Brasil, a madeira tem sido utilizada na construção de diversos arranha-céus pelo mundo. Combinando pilares e vigas de Madeira Laminada Colada (MLC) e lajes de Madeira Laminada Cruzada (CLT), edifícios de madeira já alcançam 85 m de altura, a Figura 17 ilustra os maiores exemplos já construídos pelo mundo.

Figura 17: Exemplos de Edifícios de Madeira



Fonte: Leuschel (2019).

Com diversas vantagens e alguns desafios, uma edificação em madeira que abrigue vegetações em seu interior é a mudança de paradigma na Construção Civil. Para tanto, nos próximos capítulos serão discutidas e propostas metodologias que tragam o entendimento da viabilidade econômica de uma edificação com essas características.

3 Desenvolvimento

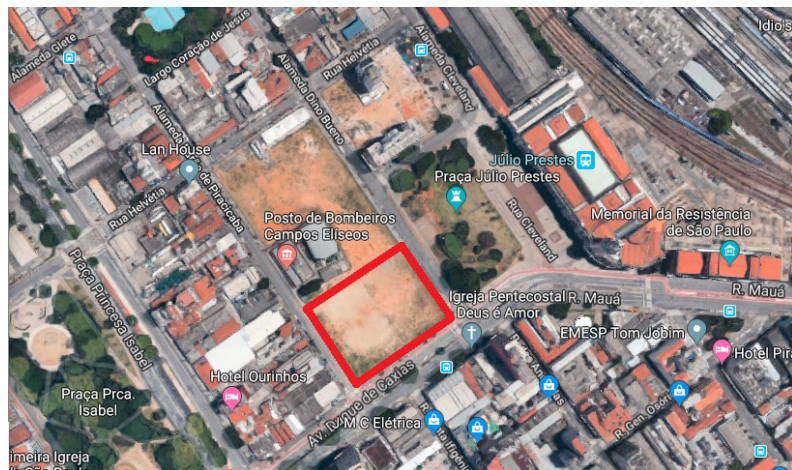
Com base nas pesquisas de Perini e Rosasco (2014), GSA (201?), Lilauwala e Peck (2017), Breuning (2015), Shin e Kim (2019), dentre outros, é desenvolvida neste trabalho uma análise probabilística da relação custo-benefício de uma edificação em madeira com objetivo de um Parque Vertical. Os custos e benefícios da construção e manutenção da edificação, além de custos de implantação e manutenção das soluções verdes (*indoor potting plant*, fazenda vertical e telhado verde) são discutidos separadamente.

Inicialmente são levantados e quantificados todos os custos e benefícios possíveis de uma edificação a ser construída no bairro Campos Elíseos, São Paulo, em um terreno baldio de 83 x 90 m (Figura 18). Bairro encravado numa região de tipo 4, segundo classificação socioambiental do Atlas Ambiental de São Paulo (2002), tal tipo consolida índices medianos de adensamento vertical (índice entre 0,16 e 0,19; Figura 19) e os piores índices de estado da cobertura vegetal e resposta à conservação de biodiversidade. Além disso, Campos Elíseos tem um índice de qualidade do ar de 95 (AQICN, 2019). Numa escala que vai de 0 a 500, o bairro tem grau moderado de poluição do ar, porém tem o maior índice da zona central de São Paulo (Figura 20).

Segundo, Sepe e Gomes (2008), regiões pavimentadas, com pouco verde e índice de poluição acima do recomendado são fatores preponderantes para a criação de ilhas de calor (diferença de temperatura em escala local). O Atlas Ambiental do Município de São Paulo (2002) apresenta o bairro com uma temperatura aparente de superfície entre 30 e 31 °C, versus 23,5 °C de Parelheiros (região mais arborizada do município), deixando o bairro como um dos principais focos de ilhas de calor do município de São Paulo (Figura 21).

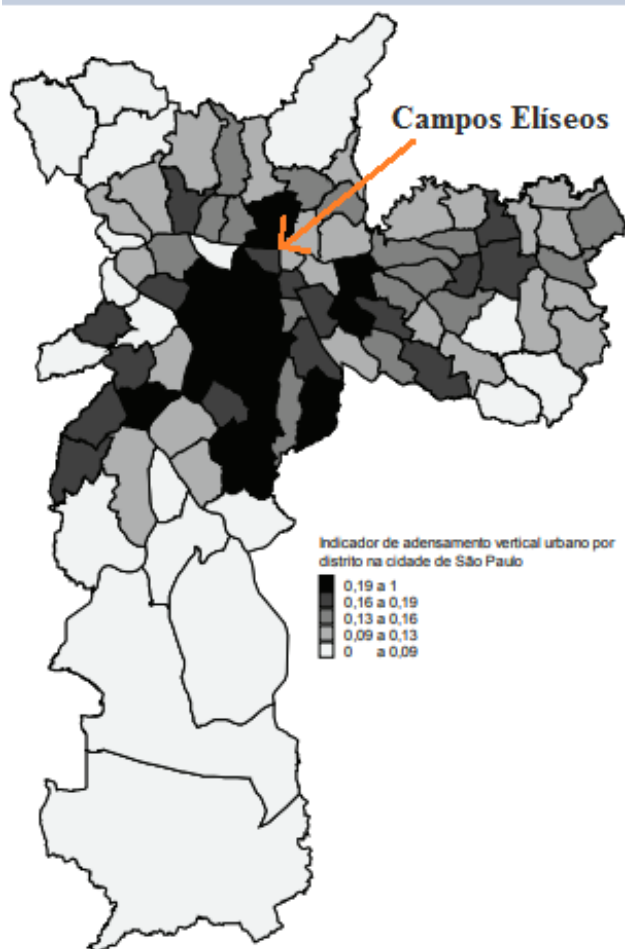
Por fim, e não menos importante, o bairro tem índices altos de precariedade urbana (ATLAS AMBIENTAL DE SÃO PAULO, 2002), o bairro se encontra próximo à área denominada “Crackolândia”, região com alta presença de tráfico de drogas e pessoas em situação de rua usuárias de droga. Dessa forma, um projeto sustentável construído na região pode ser visto como um instrumento de revitalização e inclusão de cerca de 2.000 pessoas (BOCCHINI, 2017) em situação de total exclusão social e na quase totalidade sem vínculo empregatício.

Figura 18: Área escolhida para o estudo de caso



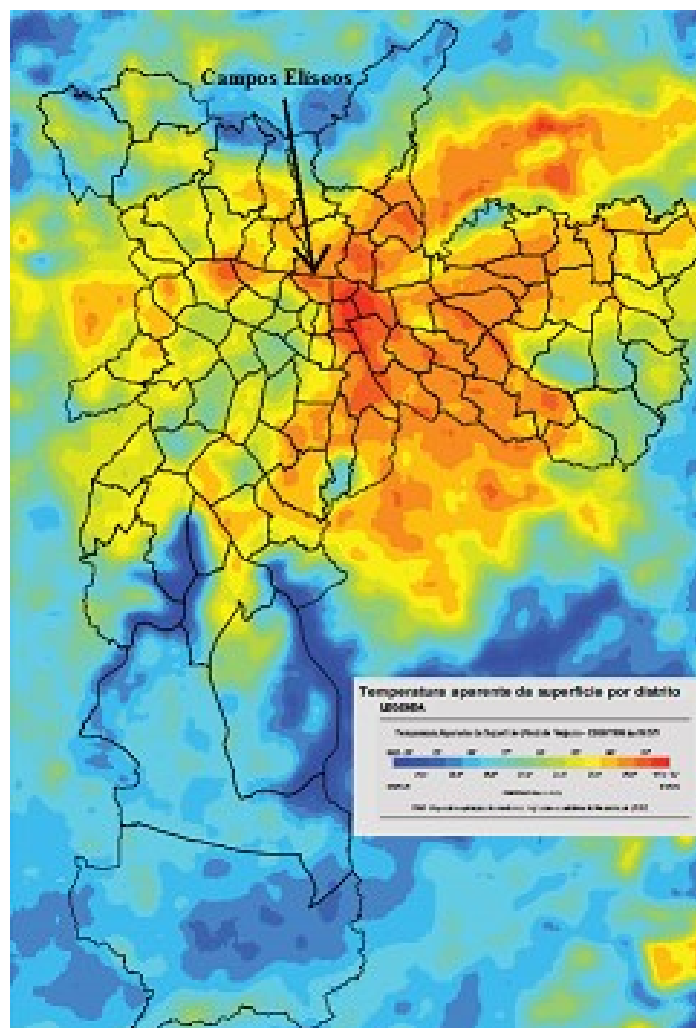
Fonte: Adaptado Google Maps (2019)

Figura 19: Indicador Sintético de Adensamento Vertical de São Paulo



Fonte: Adaptado de Sepe e Gomes (2008)

Figura 21: Mapa de calor de temperaturas médias por distrito de São Paulo



26

Em seguida, é feita uma análise probabilística do Valor Presente Líquido (VPL) dos custos e benefícios quantificados segundo a Simulação de Monte Carlo, método de simulação estatística que utiliza sequências de números aleatórios para desenvolver simulações de problemas não triviais e que envolvem muitas incertezas. Ao se estimar cenários numéricos pessimistas e otimistas para cada premissa (a partir do desvio padrão) que compõem o cálculo de VPL, é possível mensurar-se por milhares de iterações randômicas o impacto de tal edificação no bairro escolhido no horizonte escolhido de 40 anos (CLARK *et al.*, 2008).

3.1. Custo de construção da edificação

Para uma área de cerca de 83 x 90 m disponível no bairro Campos Elíseos, em São Paulo (SP), a proposta de construção do Parque Vertical contempla três pavimentos e área projetada de 30 x 50 m, ou 1500 m², resultando em 3.500m² construídos.

De acordo com Dovetails (2016), para regiões com produção de madeira massificada, CLT, por exemplo, uma edificação em madeira tem 4% menos custos do que uma edificação convencional em concreto armado. Isso só é possível devido a ganhos com mão de obra, dado que estruturas em madeira são pré-fabricadas e o tempo de construção é reduzido significativamente. Para tanto, foi considerado o Custo Unitário Básico (CUB) para construção de edificações novas em São Paulo, na modalidade de edifício comercial com andar livre (CAL – 8), como custo estimado médio de construção de um possível Parque Vertical. Nominalmente, para 2019, o CUB teve o valor de cerca de R\$ 1685,44 (SINDUSCON-SP, 2019).

3.2. Custo de manutenção da edificação

Devido a incipiência de análises do tipo para edificações em madeira, os custos de manutenção ainda estão no estágio qualitativo. Não obstante Giatec (2018), dentre outras coisas, apontou a fragilidade da madeira à exposição a umidade, tornando-a um material estrutural muito mais oneroso do que o concreto armado para se manter, pois requer mais cuidados durante seu ciclo de vida.

Com o objetivo de quantificar minimamente a manutenção de uma edificação em madeira, dada a complexidade do projeto proposto, o Guia Técnico de Manutenção da Wood Solutions (MACKENZIE, 2019) elencou uma série de atividades de manutenção periódicas ao longo do ciclo de vida de uma edificação em madeira (Anexo A e B), para o estudo de caso, são 40 anos. Cada uma dessas atividades têm uma finalidade clara em ajudar a proteger a madeira estrutural de algum agente nocivo, tal como a umidade, fungos e incêndios.

Com a quantidade de atividades total definida, em seguida, a proposta é quantificar a mão de obra necessária, e com base na Tabela de Custos de Manutenção e Reformas, o custo de uma contingência mínima para estruturas em madeira é de R\$ 65,59 (PINI ENGENHARIA, 2013). Para fins práticos, sugere-se a contratação de equipes de dois funcionários para cada atividade, em média. Logo, a Equação 1 resume o cálculo proposto.

$$\text{Custos de manutenção} = A \cdot MO \cdot v \quad [\text{Equação 1}]$$

Onde: A – Quantidade de atividades de manutenção ao longo do ciclo de vida da edificação;

MO – Quantidade de Mão de Obra média adotada para cada atividade;

v – Custo da Mão de Obra

3.3. Custo de implantação das soluções verdes

Para a edificação foram previstas colocação de árvores, arbustos e gramas nos dois primeiros pavimentos (*indoor potting plant*), Telhado Verde, e um pavimento com fazenda vertical. De acordo com o local da instalação e a técnica utilizada, o custo de implantação é bem diferente para cada solução verde. Sendo assim, no Quadro 4 são listados o custo médio por m² de cada solução empregada:

Quadro 4: Custos de implantação das soluções verdes

Solução	Custo médio (R\$/m ²)	Fonte	Área implantada (m ²)	Custo de implantação total (R\$)
Telhado Verde	150,00	Ugreen (2019)	1500	225.000,00
<i>Indoor potting plant</i>	430,24 ¹	Greenroofs (2014)	3000	1.290.720,00
Fazenda Vertical	471,00	Beyer (2015)	500	235.500,00

Fonte: Autor (2019)

3.4. Custo de manutenção das soluções verdes

Em relação a manutenção, cada solução tem seus custos específicos e, de acordo com a literatura pesquisada, está apresentado no Quadro 5 os custos estimados de manutenção por ano.

Quadro 5: Custos de manutenção das soluções verdes

Solução	Custo médio (R\$/ano*m ²)	Fonte	Área implantada (m ²)	Custo de implantação total (R\$/ano)
Telhado Verde	5,00	Oliveira (2017)	1500	7.500,00
<i>Indoor potting plant</i>	291,93 ²	Greenroofs (2014)	3000	437.895,00
Fazenda Vertical	8.670,00	Adenauer (2013)	500	4.335.000,00

Fonte: Autor (2019)

3.5. Benefícios da edificação

Além dos já mencionados ganhos com a economia na construção, o principal benefício de uma edificação em madeira é o sequestro de carbono através do carbono estocado na massa de madeira e da emissão do gás evitada durante o seu processo de produção. Quando comparada com o concreto, a madeira emite 29% a menos de CO₂ e gera 225% menos poluentes nos cursos d'água (AFF, 2019).

Com o auxílio do *software online* da Wood Works, o Estimador de Carbono, foi possível calcular-se, com as premissas do projeto, o benefício global potencial de sequestro de carbono da edificação. Considerando-se 4500 m² construídos e a região de construção no Nordeste americano (região com características mais similares ao município de São Paulo), encontrou-se 427.600 toneladas de CO₂, sendo 136.820 toneladas estocadas nos 179.230 m³ de madeira utilizados na edificação (também calculado pelo software) e 290.790 toneladas de gases de efeito estufa não emitidos durante o processo de produção da madeira. Interessante que o *software* retorna o quanto a quantidade de carbono sequestrada equivale em números de carros fora da rua por causa da mesma redução de CO₂. Para o estudo de caso, encontrou-se 81.672 carros, equivalente a cerca de 1% da frota total de carros do município de São Paulo.

Em seguida, foi calculado um possível ganho com Créditos Verdes comercializados no Mercado Financeiro. Caso fosse regulamentado no Brasil a compensação financeira de projetos que apliquem a compensação florestal (redução de emissão de gases poluentes, por exemplo), e considerando a cotação do Crédito de Carbono de 2019 em R\$ 5/tonelada de CO₂ (INVESTING, 2019), o estudo de caso receberia cerca de R\$ 2.138.00,00 ao longo de sua vida útil.

3.6. Benefícios das soluções verdes

A análise de benefícios tem ganhado importância uma vez que argumentos qualitativos têm perdido valor no planejamento de qualquer tipo de edificação verde, até para benefícios não quantificáveis, como o estético (SHIN e KIM, 2019). Eles podem ser divididos entre sociais e privados, sendo os sociais para benefício da comunidade do entorno da edificação e os privados para os usuários da edificação.

3.6.1. Benefícios privados

Para os benefícios privados, Shin e Kim (2019) calcularam alguns dos benefícios adotados no projeto, sendo eles o sequestro de carbono, a redução de consumo de energia em resfriamento e a redução de gastos com enchentes (Equações 2, 3,4).

Para o sequestro de carbono, conforme resume a Equação 2, o cálculo se baseou em estudos pregressos que quantificaram a remoção de dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera de projetos com características similares através da superfície verde implementada. Dessa forma, sendo o Bosque Vertical de Milão o projeto encontrado com as características mais próximas ao estudo de caso, adotou-se como premissa a mesma quantidade de CO₂ capturada em Milão, cerca de 1,5 kg/ano*m² (GREENROOF, 2014). Em seguida, é necessário entender qual o valor compensado financeiramente pelo impacto ambiental positivo, cerca de R\$ 5,00/tonelada, mesmo valor adotado anteriormente.

$$\text{Sequestro de carbono} = V \cdot b \cdot t \quad [\text{Equação 2}]$$

Onde: V – Quantidade de CO₂ capturada (tonelada/ano);

b – Valor revertido pela política de incentivo ao sequestro de carbono (R\$/tonelada);

t – Tempo de análise (anos).

A redução de consumo de energia em resfriamento pode ser estimada de acordo com a Equação 3, onde, com o potencial das plantas em controlar a temperatura ambiente, uma solução verde pode manter a temperatura interna de uma edificação menor do que a externa, evitando o uso de ar condicionados. Assim, relaciona-se os gastos com energia elétrica economizados, R\$ 10,76/kWh/m² (YAMADA,2008) com o tempo analisado.

$$\text{Redução de consumo de energia em resfriamento} = E \cdot A \cdot t \quad [\text{Equação 3}]$$

Onde: E – Custo com energia elétrica economizados (R\$/kWh/m²);

A – Área verde considerada (m²);

t – tempo de análise (anos).

Os ganhos com redução de enchentes vêm devido a maior retenção de águas pluviais por parte de uma solução verde em comparação com uma edificação convencional, aumentando o tempo de concentração de uma bacia e evitando transbordamentos de cursos de água. Shin e Kim (2019) propõem um cálculo (Equação 4) interessante para o cálculo dos ganhos com gerenciamento de enchentes:

$$\text{Gerenciam. de enchentes} = M \cdot R \cdot r \cdot G \cdot t \quad [\text{Equação 4}]$$

Sendo: M – Custo do Gerenciamento de Enchentes local (R\$/t/ano);

R – volume de água da chuva coletado (m³);

r – Taxa de Redução de água escoada (%);

G – Razão de área verde considerada sobre área total do bairro (%);

t – Tempo considerado na análise (anos).

Para o cálculo da Equação 4, foi adotado um custo de Gerenciamento de Enchentes de R\$ 0,24/m²/dia (SANTOS, 2013). Considerando a precipitação anual média de São Paulo de 1,5

m³/m (INMET, 2018), adotou-se a impermeabilidade média dos terrenos do bairro de 75% e área do bairro igual a 4 km².

Além desses, há o possível ganho com a comercialização dos vegetais produzidos na Fazenda Vertical de área estimada de 500 m². Para fins práticos, foi considerado que os vegetais sejam vendidos a preço de custo e, segundo Tasgal (2019), a produção de um quilograma de vegetal em uma fazenda vertical sai por R\$ 2,93. Ainda, Adenauer (2013), estima que uma fazenda vertical produza 7.940 kg/m²*ano. Desse modo, trivialmente encontra-se os ganhos com a venda de vegetais da Fazenda Vertical através da Equação 5.

$$\text{Ganhos anuais de venda} = P \cdot V \cdot A \cdot t \quad [\text{Equação 5}]$$

Onde: P – produção estimada da Fazenda Vertical (kg/m²*ano);

V – Valor de Venda (R\$/kg);

A – Área de produção (m²);

t – tempo considerado (anos).

A produção de vegetais na Fazenda Vertical pode ser um importante instrumento de inclusão de usuários de droga sem vínculo empregatício que estão presentes no bairro escolhido, tal qual já fora feito com o projeto Braços Abertos, onde durante a gestão do prefeito Fernando Haddad, cerca de 500 pessoas ganharam apoio em sua reabilitação através de oportunidades emprego (SANT'ANNA, 2016).

3.6.2. Benefícios sociais

Para os benefícios sociais, GSA (2015) analisou e quantificou ganhos para a comunidade do entorno da edificação, tais como: diminuição de Ilhas de Calor, melhoria na qualidade do ar e aumento da biodiversidade urbana.

Lilauwala e Peck (2017) quantificaram ganhos com redução de Ilhas de Calor, que chegaram a 2 °C após a construção do citado Bosque Vertical de Milão (GREENROOF, 2014) e a melhoria na qualidade do ar com, estimando R\$ 45,42/m²*ano e R\$1,60/m²*ano, respectivamente. Para o aumento da biodiversidade urbana, não foi encontrado na literatura nenhum ganho quantificado, ficando, portanto, apenas a menção de sua importância e impacto grandioso na comunidade

3.6.3. Análise probabilística de Custo Benefício

Uma vez quantificados os custos e benefícios do estudo de caso, é implementada uma análise probabilística utilizando uma aproximação da Simulação de Monte Carlo, tal qual

(MAHDIYAR et al., 2016) com o objetivo de calcular o Valor Presente Líquido (VPL) como indicador de sucesso na relação Custo - Benefício.

Para tanto, é necessário encontrar, primeiramente, a Taxa de Desconto do projeto. Devido as especificidades da economia brasileira, não foi possível adotar como premissa a taxa de desconto utilizada por pesquisas anteriores. Portanto, para o estudo, baseou-se na fórmula de Custo médio ponderado do capital (WACC) para encontrar esse indicador (Equação 6).

$$WACC = K_e \cdot \left(\frac{E}{E+D} \right) + K_d \cdot \left(\frac{D}{E+D} \right) \quad [\text{Equação 6}]$$

Onde: WACC – Custo médio ponderado do capital;

K_e – Custo do capital aos acionistas;

K_d – Custo da dívida;

E – Total de Patrimônio Líquido (Capital Próprio);

D – Total da Dívida (Capital de Terceiros).

A relação entre E e D define a estrutura de capital de investimento em novos empreendimentos de uma empresa, quanto maior o Capital Próprio sobre o Capital de Terceiros, melhor o desempenho da empresa. Para o estudo de caso, foi adotada a relação média das 32 empresas de construção civil brasileiras listadas em bolsa (anos-calendário 2009-15) encontrada por Silva et al. (2017): 41% de Capital Próprio e 59% de Capital de Terceiros.

O Custo do capital aos acionistas (K_e) é função o quanto o investimento é vantajoso frente a outras possibilidades dentro do mercado e está listado no Quadro 6 os índices anualizados para 2019 considerados, que são: Retorno do ativo livre ao risco, Retorno esperado sobre o índice de mercado e risco de negócio (quantas vezes o empreendimento crescerá frente a média do mercado). No mesmo quadro também está apresentado o Custo da dívida (K_d) que também está anualizado para 2019 com base na Taxas Selic e de operação bancária e Taxa de Desconto (WACC) encontrada de 9,58%.

Quadro 6: Composição da Taxa de Desconto para Construções Verdes no Brasil (ano-base 2019)

Índice		Valor	Fonte
Retorno do ativo livre ao risco		6,20%	Receita Federal (2019)
Retorno esperado sobre o índice de mercado	SELIC	5%	Receita Federal (2019)
	Poupança	3,66%	Guia de Investimentos (2019)
	CDB	5,70%	Guia de Investimentos (2019)
	Títulos	6,16%	Guia de Investimentos (2019)
	IBOVESPA	22%	Guia de Investimentos (2019)
	INFLAÇÃO	3,28%	IBGE (2019)
	Média	9%	-
	Inflação	3,28%	IBGE (2019)
	Consolidado (Média +Inflação)	11,78%	-
Risco de negócio	CAGR Construção Civil (2018 - 2023) ¹	8,07%	More (2018)
	CAGR Construções Verdes (2018 - 2023) ²	10,26%	Sawant (2018)
	Risco do Negócio (Empreendimento Verde vs Média Mercado)	1,27	-
Custo do Capital Próprio (Ke)		13,29%	-
Custo da Dívida (Kd)		7%	-
WACC		9,58%	-

Fonte: Autor (2019)

3 Análise dos Resultados

Uma vez levantados os custos e benefícios da construção de um Parque Vertical no bairro de Campos Elíseos em São Paulo (SP), pode chegar na relação Custo/Benefício, importante indicador para traduzir o retorno total de um investimento, para o estudo de caso em questão, a relação encontrada foi de 1,77. O Quadro 7 traz o detalhamento das etapas consideradas.

Quadro 7: Resumo dos custos e benefícios do Parque Vertical proposto

Tipo	Valores totais (40 anos de projeto)
Custos de Implantação	
Implantação Edificação	R\$ 5.663.078,40
Implantação Soluções Verdes	R\$ 70.048.800,00
Custos de Manutenção	
Manutenção Edificação	R\$ 1.222.597,60
Manutenção Soluções Verdes	R\$ 191.215.800,00
Custos totais	R\$ 268.150.276,00
Benefícios Edificação	R\$ 2.138.000,00
Benefícios privados	R\$ 467.167.170,85
Benefícios sociais	R\$ 6.582.800,00
Benefícios totais	R\$ 475.887.970,85
Custo/benefício	1,77

Fonte: Autor (2019)

Pouco difundida dentro das pesquisas sobre o tema, a literatura nos mostra que para Telhados Verdes, Shin e Kim (2015) encontraram, em média, uma relação Custo/Benefício de 1,1 e Nurmi *et al.* (2013) encontraram, em média, uma relação de 1,4. Logo, a proposta de parque vertical tem um custo benefício 26% acima do encontrado na literatura. Isso motiva o detalhamento, sobretudo dos benefícios quantificados. O Quadro 8 apresenta o detalhamento dos benefícios.

Quadro 8: Quantificação dos Benefícios de um Parque Vertical

Benefício	Ganhos (R\$)	Composição do Total (%)
Edificação	R\$ 2.138.000,00	0,4%
Compensação de Carbono	R\$ 1.500.000,00	0,3%
Energia em Resfriamento	R\$ 125.533,33	0,0%
Gerenciamento de Enchentes	R\$ 257.637,52	0,1%
Fazenda Vertical	R\$ 465.284.000,00	97,8%
Ilhas de calor	R\$ 6.358.800,00	1,3%
Qualidade do Ar	R\$ 224.000,00	0,0%
Total	R\$ 475.887.970,85	-

Fonte: Autor (2019)

Do Quadro 8, vê-se claramente que 97,8% dos benefícios ocorrem da produção de vegetais na Fazenda Vertical da edificação, isso é expressivo, porém, ao olhar para os custos com manutenção, a Fazenda Vertical representa cerca 90,6% das soluções verdes (Quadro 5). Isso significa que será gasto um valor muito expressivo para manter a Fazenda Vertical, mas seu retorno financeiro é representativo, tornando a solução mais impactante economicamente no projeto.

Uma vez calculados os custos e benefícios, é importante calcular-se o VPL, uma vez que ele é o indicador financeiro que investidores se interessam para aportar seus recursos em projetos, pois é importante levar em consideração o valor do dinheiro no tempo antes de se concluir que um projeto é viável economicamente. Dessa forma, através do uso de uma planilha eletrônica e o Método de Monte Carlo, conforme o Quadro 9, foram simulados os custos e benefícios ao longo dos 40 anos de projeto segundo um desvio padrão de 10% da média anual calculada com base nos valores encontrados no Quadro 7. Dessa forma, obtém-se os valores randômicos no intervalo estipulado. Isso é importante, pois auxilia a prever variações econômicas e de outras naturezas ao longo do tempo.

Quadro 9: Fluxo de Caixa variável

		Valor anual esperado	Desvio Padrão (10%)	
Benefícios totais	R\$	13.365.888,82	1.336.589	
Custos de Manutenção	-R\$	4.810.959,94	(\$481.096)	
Custos de Implantação	-R\$	75.711.878,40	-R\$ 7.571.187,84	
Fluxo de Caixa Anual				
	Ano 0	Ano 1	Ano 2	... Ano 40
Benefícios (Privados + Sociais)		\$13.229.633	\$14.750.710	\$10.986.000
Custos	-R\$ 57.312.235,93	-R\$ 3.913.499,50	-R\$ 5.940.743,89	-R\$ 4.723.059,66
Fluxo de caixa	(\$57.312.236)	\$9.316.134	\$8.809.966	\$6.262.941

Fonte: Autor (2019)

Após realizar 100 interações, como resultado da análise, obtém-se da planilha os valores anuais médios simulados para os custos e os benefícios, além, é claro, do VPL do projeto: R\$ 10.740.811,62.

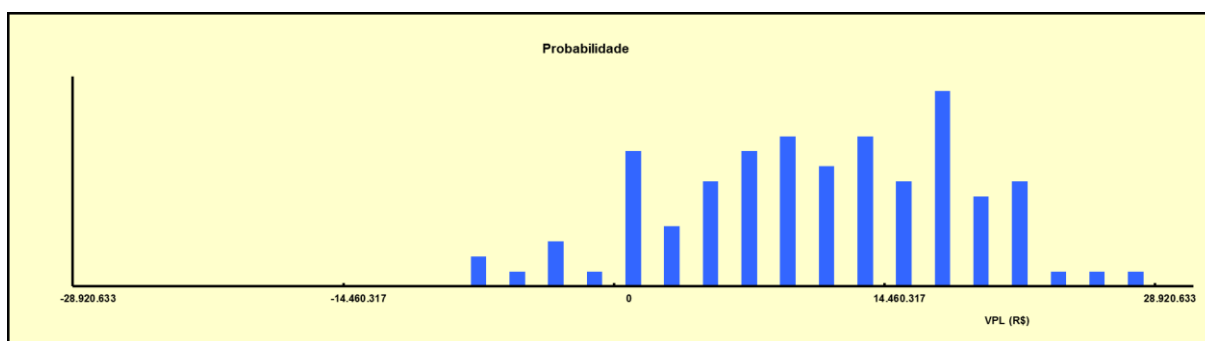
Figura 22: Sumário dos resultados principais

Número de tentativas = 100		Variáveis de entrada simuladas e resultados principais			
				Resultados principais	
		Benefícios totais	Custos de Manutenção	VPL	
Média	R\$	13.265.685,62	-R\$ 4.864.612,42	R\$	10.740.811,62
Desvio Padrão		1.373.446	471.326		\$8.940.464
Máximo		16.300.349	-3.748.774		\$43.136.568
Mínimo		10.258.302	-6.690.012		-\$12.291.030
Mediana					\$11.304.145
Probabilidade de NPV > 0					89,0%
Coefficiente de variação					0,83

Fonte: Autor (2019)

Outro resultado importante é a probabilidade do VPL ocorrer, dado que a modelagem é simulatória. Para um desvio padrão de 10%, um VPL positivo tem 89% de probabilidade de ocorrer. Além disso, conforme ilustra a Figura 24, dentro das 100 interações feitas, os VPLs calculados apresentaram uma curva normal esparsa e sem resultados negativos. Isso significa que o projeto tem chances de ter variações relevantes em seus resultados financeiros.

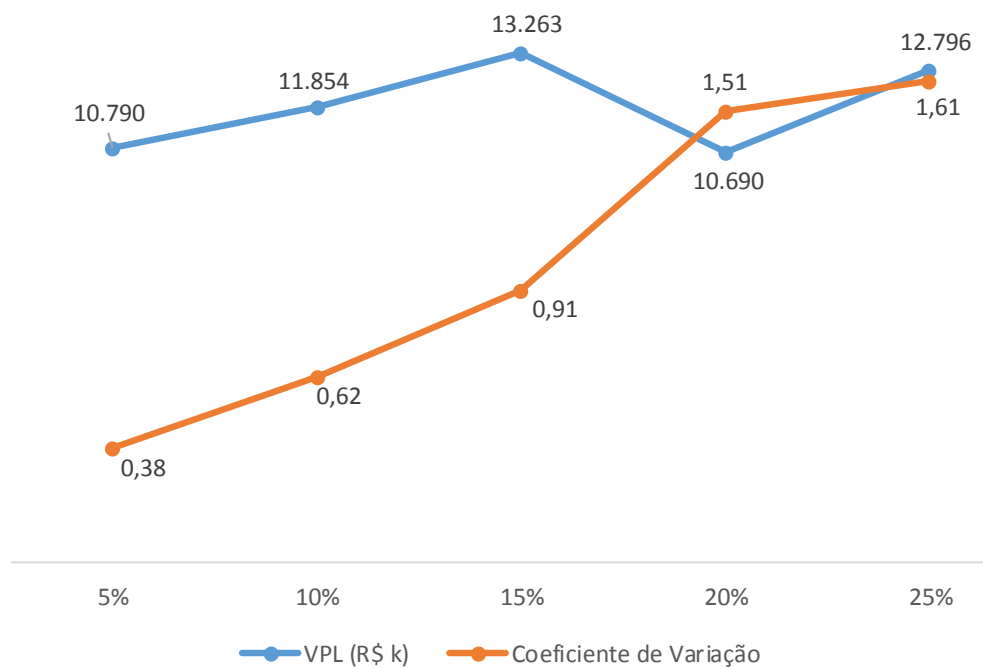
Figura 23: Distribuição normal da probabilidade do VPL



Fonte: Autor (2019)

Devido a premissa adotada de se impor à ferramenta um desvio padrão de 10% para os valores médios calculados, foram simulados VPLs com desvios padrão diferentes para entender o impacto no resultado e a importância do indicador.

Figura 24: VPL Simulado (R\$ k) e Coeficiente de Variação para diferentes Desvios Padrão



Fonte: Autor (2019)

Como análise, entende-se que o aumento gradativo do desvio padrão dos custos e benefícios do Parque Vertical não impactou no VPL simulado. No entanto, como o coeficiente de variação aumentou significativamente (323%), de 0,38 para 1,61, isso quer dizer que a dispersão dos VPLs aumentou.

3 Conclusões e Considerações Finais

Este trabalho trata da análise da relação custo-benefício de um parque vertical em edificações multipavimentos em madeira. Para este fim, foi analisada uma edificação localizada no bairro Campos Elíseos, em São Paulo (SP), e, a partir da proposta de implementação de soluções verdes na edificação, com o auxílio do método estatístico de Monte Carlo (importante ferramenta em situações onde as grandezas são complexas e não muito precisas) e foi analisada a relação Custo/Benefício, sobretudo através do VPL do projeto.

A partir da pesquisa feita, viu-se uma grande aderência das soluções verdes ao contexto atual das grandes cidades, em especial São Paulo, uma vez que os benefícios trazidos serão importantes para reduzir a temperatura média do bairro, que já é 8 °C superior à média de bairros arborizados, além de contribuir na redução de custos com gerenciamento de enchentes e conseguir reabilitar inúmeras pessoas que estão em situação de rua num bairro com altos índices de precariedade urbana e criminalidade devido ao tráfico de drogas.

Da análise de Custo/Benefício, conclui-se que o projeto é viável, com um VPL resultante bem expressivo, cerca de R\$10.740.811, dado importante a ser ressaltado, dado a crença de que projetos sustentáveis são muito onerosos e não dão retorno aos investimentos feitos.

Do VPL resultante, entende-se caberem análises futuras de quantificação de benefícios mais profundas, uma vez que diversas premissas adotadas poderiam ser medidas com mais precisão, tais como custos com manutenção de uma edificação em madeira, redução de custos com gerenciamento de enchente, o crescimento do mercado de soluções verdes e o potencial de produção da Fazenda Vertical proposta. A precisão dessas premissas foi dificultada devido ao contexto de construções sustentáveis do Brasil, um país ainda em desenvolvimento de pesquisas sobre o tema.

Além disso, há uma premissa não considerada na análise que pode ter impactos significativos no resultado: a remoção da estrutura no fim de seu ciclo de vida. Após 40 anos, a estrutura do Parque Vertical poderia ser utilizada em outros projetos, uma vez que a madeira tem uma vida útil maior do que 40 anos. Isso faz com que os benefícios mapeados na presente análise possam ser ampliados futuramente.

Para diminuir os riscos de dimensionamento financeiro incorreto e prever variações no comportamento da economia brasileira, foi adotado um Desvio Padrão de 10%, porém com quantificações mais precisas e cenários mais estáveis, poderia ser possível reduzir o Desvio Padrão quase a zero. Não obstante foi observado que para Desvios Padrão próximos a zero, o

VPL não mudou de valor significativamente, saindo de 11,8 para 10,8 milhões, diminuição de 8%. Mostrando que se as quantificações de custos e benefícios estiverem condizentes com a realidade, o projeto é viável em qualquer circunstância, com ou sem razoável variação da economia.

Por fim, num contexto de crescimento das construções verdes acima da média do mercado de construção civil, 10,26% frente a 8,07% nos próximos cinco anos, mais investimentos podem ser aportados em projetos do tipo, isso só corrobora a necessidade de mais pesquisas sobre o tema para que o setor ganhe confiança no mercado de investimentos e o meio ambiente seja melhor preservado.

REFERÊNCIAS

AGFUNDERNEWS. *The Economics of Local Vertical and Greenhouse Farming Are Getting Competitive*. 2019. Disponível em: <<https://agfundernews.com/the-economics-of-local-vertical-and-greenhouse-farming-are-getting-competitive.html>>. Acesso em: 13 de outubro de 2019.

ARCH DAILY. *Edifício Bosco Verticale*. 2015. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/778367/edificio-bosco-verticale-boeri-studio>>. Acesso em: 24 de agosto de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devido ao vento em edificações**. Rio de Janeiro. 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: Projeto de Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro. 1997.

ATLAS AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. 2002. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/2739653-Atlas-ambiental-do-municipio-de-sao-paulo.html>>. Acesso em: 2 de novembro de 2019.

AQCIN. **Poluição do ar em São Paulo: Mapa da qualidade do ar em tempo real**. 2019. Disponível em: <<https://aqcin.org/map/saopaulo/pt/>>. Data de acesso: 12 de outubro de 2019.

BALDWIN, Eric. Studio Fuksas projeta parque vertical para a costa de Mônaco. 2019. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/912386/studio-fuksas-projeta-parque-vertical-para-a-costa-de-monaco>>. Acesso em: 18 de novembro de 2019.

BANERJEE, Chirantan. *Up, Up and Away! The Economics of Vertical Farming*. Journal of Agricultural Studies. Alemanha. Vol. 2, No. 1. 2014.

BARBOSA, M.; FONTES, M. **Desempenho térmico de jardins verticais de tipologia fachada verde**. 2019. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*.

BOERI, S et al. **L'«urbanistica» di Bernardo Secchi, laboratorio e condensatore di esperienze**. 2014. Urbanistica, v. 65, n. 153.

CLARK, K. et al. ***Product development performance – strategy, organization, and management in the world auto industry***. 2008. Boston, Mass.: Harvard Business School Press.

COSTA, Suzana B. **Levantamento de custo e benefícios para a implantação de um sistema de telhado verde na cobertura impermeabilizada de uma edificação vertical**. 57. Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás. Goiás, 2018.

CURBED. ***World's largest rooftop urban farm to open in Paris next year***. Liz Stinson. 2019. Disponível em: <<https://www.curbed.com/2019/8/15/20806540/paris-rooftop-urban-farm-opening>>. Acesso em: 14 de setembro de 2019.

DEZEEN. ***10 plant-covered buildings that point to a greener future***. 2017. Disponível em: <<https://www.dezeen.com/2017/06/30/10-plant-covered-buildings-point-greener-future-living-walls-roundup/>>. Acesso em: 14 de setembro de 2019.

DLR GROUP. ***Tall with timber: A Seattle Mass Timber Tower Case Study***. Acesso em: 17 de junho de 2019. Disponível em: <<http://www.fastcpp.com/wp-content/uploads/181109-Seattle-Mass-Timber-Tower-Book.pdf>>. Acesso em: 12 de outubro de 2019.

ESTADÃO. **Os 6 Desafios do Parque Minhocão**. 2019. Disponível em: <<https://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,os-6-desafios-do-parque-minhocao,70002833673>>. Acesso em: 15 de setembro de 2019.

ESTADÃO CONTEÚDO. ***Após dois anos de manutenção, prédios desistem de jardins verticais***. 2019. Disponível em: <<https://vejasp.abril.com.br/cidades/apos-dois-anos-de-manutencao-predios-desistem-de-jardins-verticais/>>. Acesso em: 13 de outubro de 2019.

FRAYSSINET, Fabiana. ***The Soul of Buenos Aires Is Turning Grey***. 2015. Disponível em: <<http://www.ipsnews.net/2015/02/the-soul-of-buenos-aires-is-turning-grey/>>. Acesso em: 18 de novembro de 2019.

GIANCOMELLO, E. **Avaliando a vegetação de arranha-céus do Bosco Verticale, Milão**. 2015. Disponível em: <<https://docplayer.net/47791461-Ctbuh-research-report-vertical-greenery-evaluating-the-high-rise-vegetation-of-the-bosco-verticale-milan-elena-giacomello-massimo-valagussa.html>>. Acesso em: 18 de novembro de 2019.

GILHOOLEY, M. Grama verde do trabalho: um pouco de verde pode percorrer um longo caminho, e não estamos falando de dinheiro. Projeto e Gerenciamento de Instalações. <http://www.iuoe.org>, 2002.

GOOGLE MAPS. 2019. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/preview>>. Acesso em: 12 de outubro de 2019.

GREEN BUILDER. ***Vertical Farming Offers Solutions to Food Scarcity in Singapore***. 2016. Disponível em: <<https://www.greenbuildermedia.com/resilient-housing/vertical-farming-food-scarcity-singapore-and-us>>. Acesso em: 20 de outubro de 2019.

GREEN ROOFS. ***Bosco Verticale (Verticale Forest)***. 2014. Disponível em: <<https://www.greenroofs.com/projects/bosco-verticale-vertical-forest-milan/>>. Acesso em: 15 de setembro de 2019.

GREEN ROOFS TECHNOLOGY. ***Green Roofs in Singapore***. 2013. Disponível em: <<http://www.greenrooftechology.com/green-roof-blog/green-roofs-in-singapore>>. Acesso em: 15 de setembro de 2019.

GSA - GENERAL SERVICES ADMINISTRATION. ***Office of Design and Construction: BIM Guide for Facility Management***. Washington: GSA, 2011. Disponível em: <<https://www.gsa.gov/bim>>. Acesso em: 11 de outubro de 2019.

HAGGAG, M.; HASSAN, A. ***Cost-benefit analysis of living wall systems on school building skins in a hot climate***. 2015. 9. Vol. 206. UAE University, United Arab Emirates.

INDEPENDENT. ***Vertical farming: is this the answer to the world's food shortage? Hazel Sheffield***. 2017. Disponível em: <<https://www.independent.co.uk/life-style/food-and->

drink/can-vertical-farming-save-the-world-food-shortage-a7558986.html>. Acesso em: 27 de outubro de 2019.

INMET. **Boletim Climatológico do Estado de São Paulo**. Governo do Estado de São Paulo. 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/notas_tecnicas/2018/ABRIL/Boletim_climaSP_MARCO_2018.pdf>. Acesso em: 2 de novembro de 2019.

INVESTING. **Crédito Carbono – Futuros Preços**. 2019. Disponível em: <<https://br.investing.com/commodities/carbon-emissions>>. Acesso em: 13 de outubro de 2019.

NAKAMURA, Juliana. **Tendências da Construção Civil**. 2019. Disponível em: <<https://www.buildin.com.br/tendencias-da-construcao-civil-2/>>. Acesso em: 11 de novembro de 2019.

NOUVEL. **Kuala Lumpur Le Nouvel**. 2016. Disponível em: <<https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/realisations/kuala-lumpur/le-nouvel-kuala-lumpur>>. Acesso em: 10 de outubro de 2019.

PECK, S.; LILAUWALA, R. *Life-cycle cost analysis for green and cool roofs in Toronto*. 2017. Toronto: The Cardinal Group.

PERINI, Katia; ROSASCO, Paolo. *Vertical greening systems: social and private benefits and costs*. 2014. 9. Department of Architectural Science, University of Genoa (Italy).

PINI ENGENHARIA. **Tabela de Custos de Manutenção e Reformas**. 2019. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/17757110-Tabela-de-custos-de-manutencao-e-reformas.html>>. Acesso em: 17 de novembro de 2019.

RECIFE, Lei Municipal. **Dispõe sobre a instalação do "telhado verde" e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais**. Nº 18.112/2015. Disponível em: <<http://leismunicipa.is/cjeuk>>. Acesso em 11 de novembro de 2019.

SAVI, Adriane C. **Telhados verdes: análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura**. Monografia de especialização. Curitiba: UTFP, 2012.

SCHERER, Minéia J.; ALVES, Thales S.; REDIN, Janaína. **Envoltórias vegetadas aplicadas em edificações: benefícios e técnicas**. Arquitetura IMED, v.7, 2018.

SEPE, P. M.; GOMES, S. **Indicadores Ambientais e Gestão Urbana: desafios para a construção da sustentabilidade na cidade de São Paulo**. São Paulo: Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente: Centro de Estudos da Metrópole, 2008.

SHAN, Jin et al. **Uma análise das técnicas domésticas de construção de telhados verdes**. Arquitetura paisagística chinesa, v. 11, 2015.

SINDUSCON-SP. **Custo Unitário Básico da Construção Civil**. 2019. Disponível em: <<https://sindusconsp.com.br/cub/>>. Acesso em: 20 de novembro de 2019.

THE GUARDIAN. *Shanghai ‘Tree Mountain’ to feature 400 terraces, 1,000 structural columns*. 2016. Disponível em: <<https://guardian.ng/property/shanghai-tree-mountain-to-feature-400-terraces-1000-structural-columns/>>. Acesso em: 10 de novembro de 2019.

THOMÉ, Romeu. **Manual do Direito Ambiental: 5 ed.** Editora JusPodivm, 2019.

UGREEN. **Telhado Verde: O Guia Completo**. 2019. Disponível em: <<https://www.ugreen.com.br/telhado-verde/>>. Acesso em: 20 de outubro de 2019.

UNIÃO EUROPEIA. **EUROCODE 5: Desenho de Estruturas em Madeira – Parte 1-1: Geral – Regras comuns e regras para edificações**. Bruxelas. 2004.

UPM TIMBER. **The rise and rise of timber**. 2019. Disponível em: <<https://www.upmtimber.com/whats-new/2019/09/the-rise-and-rise-of-timber/>>. Acesso em: 20 de outubro de 2019.

VERTICAL GARDEN PATRICK BLANC. *L'Oasis d'Aboukir, Hymne à la Biodiversité*. 2013. Disponível em: <<https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/node/4676>>. Acesso em: 14 de setembro de 2019.

WOLVERTON, BC; WOLVERTON, John D. **Plantas de interior: sua influência nos micróbios transportados pelo ar dentro de edifícios com eficiência energética**. Jornal da Academia de Ciências do Mississippi , v. 41, n. 2, 1996.

YUREK, S. *Green Roof Technology – Green Roofs in Singapore*. 2013. Disponível em: <<http://www.greenrooftechnology.com/green-roofblog/green-roofs-in-singapore>>. Acesso em: 10 de novembro de 2019.

ANEXO A: Atividades de inspeção a uma estrutura de madeira

Item	Maintenance or Inspection Period	Remarks
Finishes - internal - external	~ 10 to 15 years see Table 1.9	
Cleaning	Clean non-confined surfaces as required. Remove build-up of soil against timber near to ground.	Dirt, mould etc traps moisture, increases potential for decay.
Cladding roofing, weatherproofing	~ 10 year inspections some environments may make inspection of weatherproofing more frequent	Timber cladding can have design life (5 to 100 years)
Termite protection - physical barriers - chemical barriers	inspect annually or in accordance with <AS3660> ~ 10 years for maintenance of barrier as required by supplier (~2 to 20 years)	Any sign of termites should prompt action
Ventilation subfloor, wall, roof	Check that vents are not blocked ~ annually or after any new work Clean as required ~ 10 years	Vents are essential to prevent build up of moisture/condensation
Vapour barriers subfloor, roof	Check integrity ~15 years or after any new work or other maintenance in the area	
Metal fasteners - integrity - corrosion	Retighten bolts, screws and repunch nails if req'd after 6 months and one year if unseasoned timber used Check at intervals dependent on type of corrosion protection used. Inject water repellents for bolts.	Replace any suspect fasteners. Hot dipped galvanised fasteners solve many corrosion problems.
Plumbing	Inspect gutters, downpipes etc 10 years Repair any plumbing if a leak is noticed	Moisture accelerates decay, deterioration
Decay	Check at the same time as connections Repair or replace as soon as any decay is noticed	
End-grain - sealants/caps	Inspect 3 - 5 years Replenish as required by manufacturer and before repainting	

ANEXO B: Atividades de manutenção em uma estrutura em madeira

Finish	Appearance of wood	Initial treatment		Maintenance of surface finish ^a		
			Cost	Procedure	Period	Cost
Paint	Grain and natural colour obscured	Prime and two top coats	Medium to high	Clean and apply top coat or remove and repeat initial treatment if requ'd	7 - 10 years ^b	Medium
Clear	Grain and natural colour unchanged if adequately maintained	Four coats (minimum)	High	Clean and stain bleached areas and apply two more coats	2 years or when breakdown begins	High
Water repellent ^c	Grain and natural colour - visibility becoming darker and rougher textured	One or two coats of clear material, or preferably dip applied	Low	Clean and apply sufficient material	1 - 3 years or when preferred	Low to medium
Stains	Grain visible, coloured as desired	One or two brush coats	Low to medium	Clean and apply sufficient material	3 - 6 years or when preferred	Low to medium
Organic solvents preservatives ^d	Grain visible, coloured as desired	Pressure, steeping, dipping, brushing	Low to medium	Brush down and reapply	2 - 3 years	Medium
Waterborne Preservatives	Grain visible, greenish, fading with age	Pressure	Medium	Brush down to remove surface dirt	None unless stained, painted or varnished	Nil