

Fachadas vegetais para melhora do conforto ambiental de edificações: escolha para Curitiba usando análise hierárquica

Green facades for improving environmental comfort of buildings: A choice for Curitiba using hierarchical analysis

José Edwalto de Lima Junior¹

Universidade Federal do Paraná
jrlima17@hotmail.com

Marcelo Henrique Farias de Medeiros¹

Universidade Federal do Paraná
medeiros.ufpr@gmail.com

Sérgio Fernando Tavares¹

Universidade Federal do Paraná
sergioftavares@gmail.com

RESUMO – As fachadas de qualquer edificação localizada na cidade de Curitiba necessitam de tratamentos adequados as frequentes variações climáticas, caracterizadas pelas rápidas amplitudes térmicas ao longo dos dias, e temperatura intensas de frio e calor nas estações bem definidas de inverno e verão. Os sistemas de fachadas vegetais estão se tornando opções para melhorar o desempenho térmico de edificações bem como a sensação de conforto dos usuários. Este artigo tem como objetivo escolher dentre 4 sistemas, o sistema de fachada vegetal mais apropriado à cidade de Curitiba, de acordo com oito critérios estabelecidos. O método utilizado é o Processo de Análise Hierárquica (PAH), criada por Thomas Saaty, que consiste fundamentalmente em tomadas de decisões de multi-critérios. Os resultados indicaram que o sistema de fachada vegetal com manta é a melhor solução com 30,17% de toda pontuação, embora sendo a opção de custo mais elevado e a que mais necessita manutenção.

Palavras-chave: Fachada Vegetal, Análise Hierárquica, Curitiba.

ABSTRACT - The facades of any building located in the city of Curitiba require frequent treatments suitable climatic variations, characterized by rapid thermal amplitudes over the days, intense cold and heat temperatures well defined seasons in winter and summer. The greenery facade systems are becoming techniques to improve the thermal performance of buildings and the users comfort sensation. This article aims to choose from 4 systems, the green facade system appropriate to the city of Curitiba, in accordance with eight established criteria. The method is the Analytic Hierarchy Process (AHP), created by Thomas Saaty, which basically consists of making multi-criteria decisions. The results indicated that the greenery facade system with blanket is best solution with 30.17% of all score, although the option is more expensive and requires more maintenance.

Keywords: Greenary Facade, Analytic Hierarchy Process, Curitiba.

Introdução

A fachada de um edifício tem como uma de suas funções a estética, sendo considerado o cartão de visita de um dado empreendimento, usado com frequência como elemento de valorização das unidades de um edifício. Por

outro lado, uma função primordial da fachada é a proteção e o conforto do usuário da edificação.

No contexto ambiental da cidade de Curitiba, as fachadas das edificações necessitam de tratamentos adequados às frequentes variações climáticas, caracterizadas pelas elevadas amplitudes térmicas ao longo dos dias e

¹ Universidade Federal do Paraná, Departamento de Construção Civil, Centro Politécnico. Av. Coronel Francisco Heráclito dos Santos, 210, Jardim das Américas, 81531-980, Curitiba, PR, Brasil.

temperaturas intensas de frio e calor nas estações bem definidas de inverno e verão.

De acordo com Roaf *et al.* (2009), as edificações que possuem isolamento inadequado possuem paredes de fina espessura, têm baixa inércia térmica e acabam produzindo temperaturas internas desconfortáveis tanto no verão como no inverno.

Porém, vale destacar que o desempenho das fachadas dos edifícios não dependem exclusivamente da espessura da parede, a instalação de fachadas verdes se constitui como uma alternativa capaz de promover conforto estético e melhorar a eficiência térmica das edificações.

Neste contexto, os sistemas de fachadas vegetais estão se tornando ferramentas para melhorar o desempenho das edificações intervindo através da sensação de conforto ambiental dos usuários. Este trabalho tem o objetivo de responder de forma metodológica e sistêmica qual o mais adequado sistema de Fachada Vegetal a ser instalado em uma habitação unifamiliar localizada na cidade de Curitiba, levando-se em consideração oito critérios pré-estabelecidos: preço global, isolamento térmico no verão e no inverno, isolamento acústico, manutenção, flexibilidade, adaptabilidade e ocorrência de umidade.

Fachadas vegetais

Fachada Vegetal (FV) é o nome adotado neste trabalho para o tratamento externo de uma edificação com uso de diversificadas espécies de plantas que são aplicadas diretamente ou indiretamente à superfície de uma determinada parede.

Este método também é conhecido internacionalmente por nomes como *green facade*, *vertical gardens*, *vertical greenery system*, *living walls*, *MurVert*, *Fassaden begrünung*. A nomenclatura tem variação devida aos vários tipos de sistemas de instalação existentes no mercado

mundial. No Brasil também recebe nomes como jardim vertical e parede verde.

Os sistemas de instalação podem ser classificados em duas categorias diferentes, de acordo com a forma de crescimento das plantas. São elas:

Fachadas verdes ou peles verdes: é um termo utilizado para se referir ao tipo de sistema onde a vegetação é plantada no chão, designada a crescer no sentido vertical e cobrir uma determinada superfície (Figura 1). A instalação pode ser feita para a vegetação crescer em contato direto com a superfície da parede, assim como em estruturas de apoio fixadas ou próximas a ela. Essas estruturas na maioria das vezes são gradeadas, podendo ser feitas de madeira, metal, cabos inox e PVC (Sharp *et al.*, 2008; Köhler, 2008).

Fachada Viva ou Sistema de Parede Viva ou também Living Wall System (LWS): de acordo com Köhler (2008), se caracteriza por envolver estruturas de caixas, mantas ou similares que ancoram as plantas, para que se desenvolvam dentro de sistemas de módulos ligados a parede, sem precisarem enraizá-las no chão (Figura 2). Neste caso, é indispensável um sistema de irrigação de PVC ou metal na parte superior, na qual pode alimentar as plantas através de um bombeamento de água ou de um sistema automatizado.

A instalação de fachadas vegetais pode trazer uma série de benefícios internos e externos, tanto para as pessoas que convivem com ela quanto para a edificação. Analisando 9 tipos diferentes de sistemas de fachada verde, Wong *et al.* (2009) concluíram que vários fatores influenciam no seu desempenho, tais como: a estrutura física do sistema, a dimensão e os tipos de materiais compostos nos painéis que suportam o substrato, as espécies de plantas escolhidas, o tipo do substrato, a composição e mistura do conteúdo dos vários modelos existentes no mercado.



Figura 1. Exemplos de paredes verdes ou peles verdes. À esquerda, fachada verde com grade e a direita fachada verde direta.

Figure 1. Examples of green walls or green skins. Facade with green grid (left) and direct green façade (right).



Figura 2. Exemplos de paredes vivas ou *living walls*. A esquerda, fachada viva com manta e a direita fachada viva com módulo.

Figure 2. Examples of living walls. Facade with living blanket (left) and facade with living module (right).

A superfície de uma edificação coberta por um sistema de Fachada Vegetal pode estar protegida contra as principais intempéries como a radiação direta em grande intensidade, a chuva, o vento, a geada e em países de clima frio e temperado também oferece proteção contra a neve. É importante lembrar que para o efeito de proteção desejado, a espécie da vegetação escolhida deve ser perene e de espessa camada de folhas.

No verão, as folhas aproveitam a radiação solar para permitir que o ar circule entre a planta e o edifício; o efeito chaminé e a transpiração produzem um resfriamento. No inverno, as folhas superpostas formam uma capa isolante de ar em repouso ao redor do edifício (Yeang, 2001).

Estudos feitos na região de clima mediterrâneo por Pérez *et al.* (2011) e sua equipe de pesquisadores espanhóis apontaram que a diferença térmica obtida nas paredes com superfícies protegidas por sistemas de Fachada Verde podem ser de até 15,2°C em relação às paredes expostas ao sol, entre os meses de agosto e setembro. Nos demais meses a média de variações foi de 5,2°C.

No ambiente urbano exerce proteção também contra atitudes de vandalismo (pichações, pintura, cartazes, etc.). Caso a superfície de uma parede tenha sofrido já algum dano dessa natureza, o sistema pode ser instalado a fim de poupar futuros acontecimentos de mesma natureza, além de esconder o dano já existente.

O trabalho realizado por Valesan (2009) ressalta que a presença de plantas trepadeiras nas fachadas residenciais proporciona um estado de bem-estar aos moradores que nelas residem. Os resultados obtidos através de um questionário, para os moradores que possuem paredes verdes em suas fachadas, revelam que para 73% dos entrevistados, o principal motivo da adoção da técnica está relacionado ao efeito estético e sensação de bem-estar que esta pode proporcionar, fazendo jus ao conceito de biofilia.

Apesar de nunca recuperar por completo a biodiversidade local existente antes da intensificação urbana, o uso de coberturas verdes em fachada ajuda a incentivar a permanência da biodiversidade local.

Sharp *et al.* (2008) ressaltam que para se evitar a presença de insetos indesejados é preciso evitar o crescimento excessivo das plantas, remover pedaços de madeira podre e evitar o acúmulo de água parada no sistema.

De acordo com Dunnett e Kingsbury (2008), as fachadas verdes podem ser usadas para ajudar no desempenho térmico de edificações localizadas tanto em regiões frias quanto em regiões quentes. Em regiões de clima frio atuam como retardadoras de perda de calor pela parede do edifício. Em regiões de clima quente amenizam as temperaturas de superfície das paredes através do efeito de sombra, além de gerar uma carga de resfriamento causada pelo microclima das plantas quando adultas.

Isso significa que as fachadas verdes podem inclusive ser empregadas como uma alternativa de elevação do grau de sustentabilidade de edificações, podem contar pontos em sistemas de certificação ambiental, tais como LEED for Homes, Processo AQUA e Selo Casa Azul, pesquisados e apresentados na pesquisa de Grunberg *et al.* (2014).

Região bioclimática de Curitiba

Curitiba é uma cidade de aproximadamente 1,8 milhões de habitantes localizada na região sul do Brasil, nas coordenadas 25°42' ao Sul e 49°27' a Oeste, totalizando uma área de 435 km². Construída a 934 m de altitude acima do nível do mar, a cidade está inserida em uma região climática do tipo Cfb, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger e caracteriza-se pelo clima temperado (ou subtropical), úmido, mesotérmico, com inexistência

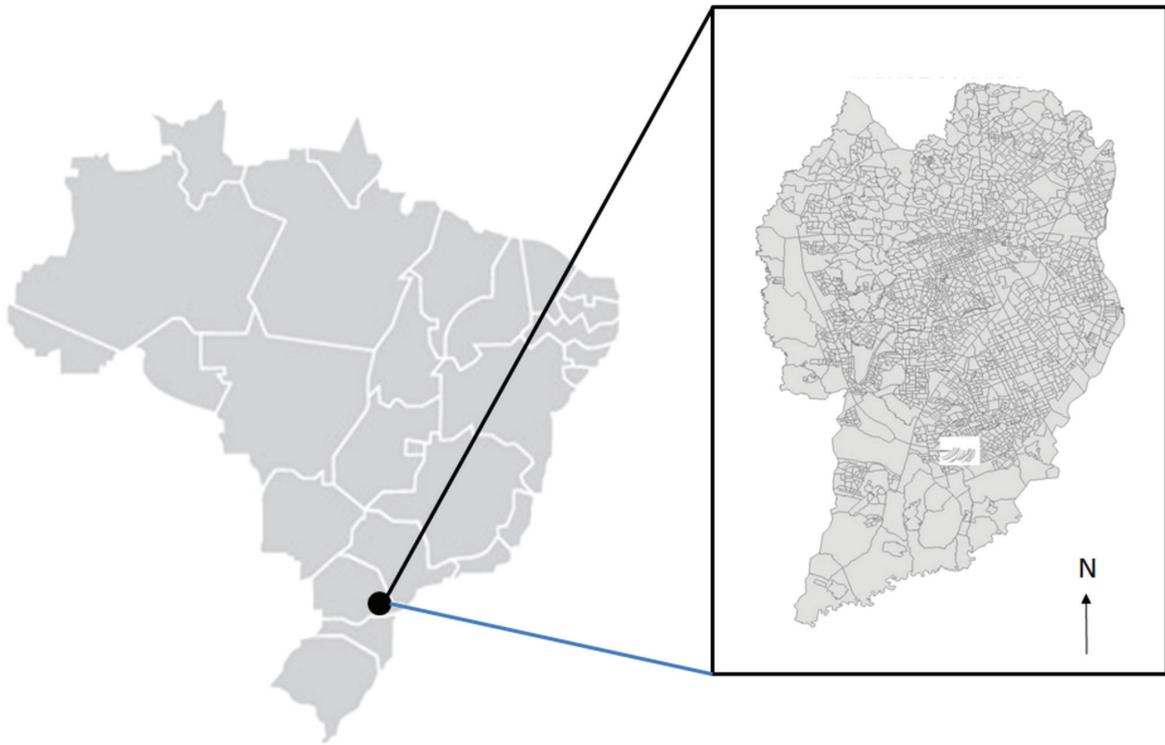


Figura 3. Localização geográfica da cidade de Curitiba. Em detalhe, o mapa do município.
Figure 3. Geographic location of Curitiba city. Detail: map of the county.

de estação seca definida e estações de verão e inverno bem definidas (IPPUC, 2012). A Figura 3 ilustra a localização da cidade estudada no mapa do Brasil.

Suas características climáticas são influenciadas principalmente pela sua localização em relação ao trópico de Capricórnio, pela altitude média do município, pela topografia do planalto e pela barreira geográfica natural da Serra do Mar (IPPUC, 2012).

As médias das temperaturas máximas e mínimas são respectivamente de 26,0°C e 7,4°C. Na estação do verão, a temperatura permanece entre 16°C e 27°C com a frequência de chuvas fortes. Já na estação de inverno, se caracteriza pelo clima frio e seco, com permanência de céu limpo e temperaturas diárias variando entre 8°C a 20°C (INMET, 2012).

Porém, há um fator agravante na produção do maior desconforto por frio e por amplitude térmica nestes locais: a conformação do relevo em escala mais ampla forma um corredor de vento no sentido Nordeste-Sudoeste, favorecendo a entrada das frentes frias e massas de ar frio que muitas vezes entram na região proveniente desta orientação, deixando desprotegidas as áreas ao Sul e ao Norte.

Método de pesquisa

O método estabelecido para este trabalho se baseia em três etapas:

- Primeira Etapa: uma revisão bibliográfica sobre os principais conceitos e pesquisas sobre as técnicas selecionadas.
- Segunda Etapa: criação de um banco de dados através de resultados e conclusões obtidos em outras publicações científicas, fornecedores de sistemas de fachadas vegetais disponíveis no mercado e livros específicos sobre o assunto.
- Terceira Etapa: aplicação de uma Análise Hierárquica, usando o banco de dados criado e os critérios estabelecidos, a fim de descobrir quais as variáveis mais relevantes e qual a melhor técnica a ser usada de acordo com elas.

Sistemas selecionados

Não existe um modelo padrão de sistema de fachadas vegetais a se construir, tampouco uma norma vigente sobre como se deve proceder uma instalação. Por isso, neste trabalho foi selecionado, dentre os diversos tipos de instalação existente, os quatro sistemas mais comuns de serem utilizados em pequenas, médias e grandes proporções. São eles:

- *Fachada Verde Direta (FVD)*: técnica que consiste em plantar uma espécie trepadeira na base da parede para que ela cresça diretamente sobre sua superfície em sentido vertical até cobri-la por completo.

- *Fachada Verde em Grade (FVG)*: técnica que consiste em plantar uma espécie trepadeira próxima a base da parede para que cresça sobre estruturas metálicas em grade paralela a parede e com a distância podendo ser determinada de acordo com a situação (em geral entre 20 cm e 80 cm de distância da parede). Para este trabalho, se considera a Fachada Verde em Grade a uma distância de 30 cm da parede.
- *Fachada Viva em Módulo (FVMO)*: técnica que se baseia em instalar um suporte (plástico ou metálico) modulado com pequenos nichos, onde em cada um deles fica instalado um único vaso com uma planta específica. Neste caso, a planta cresce dentro do nicho, sem contato com o solo.
- *Fachada Viva em Manta (FVMA)*: também conhecido internacionalmente como *living wall system*. Técnica que se assemelha a técnica de telhados verdes, pois consiste em criar um suporte fixado a parede para acomodar plantas no sentido vertical dentro de duas camadas de mantas (podendo ser manta geotêxtil, manta de feltro ou similares) com isolamento plástico de fundo, que evita que a umidade gerada seja transmitida à parede.

Vale ressaltar que, as duas primeiras técnicas são caracterizadas como Fachadas Verdes e as duas últimas como Fachadas Vivas.

Premissas pré-estabelecidas

Algumas premissas foram estabelecidas para se analisar todos os quatro sistemas perante as mesmas condições. São eles:

- Orientação: Norte (para isolamento no verão) e Sul (isolamento no inverno);
- Local de instalação do sistema: Parede externa;

- Tipologia: Habitação residencial unifamiliar;
- Delimitação Geográfica: Curitiba (zona bioclimática 1- ABNT NBR 15220);
- Dimensão da parede: 9m² (3x3);
- Composição da parede: parede de alvenaria de tijolo cerâmico com reboco de argamassa de cimento portland e com pintura;
- Aberturas na parede: nenhuma;
- Espécies de plantas: não avaliadas neste estudo. Para todos os casos, estão sendo simuladas plantas perenes, adaptáveis ao clima de Curitiba e ao sistema adequado.

Crítérios avaliados

Os critérios selecionados para a matriz hierárquica são baseadas nas principais vantagens e desvantagens que as técnicas podem oferecer que serão decisivas para a garantia do seu desempenho e do bem estar de seu proprietário. A Figura 4 ilustra o conceito geral da Análise Hierárquica adotada para este trabalho.

A seguir consta a explicação de cada critério considerado na avaliação por análise hierárquica.

Preço Global: se refere a um valor total da soma de preço do material juntamente com o preço da instalação. Quanto maior o valor, pior para o usuário.

Isolamento Térmico no verão: neste caso, está sendo avaliada apenas a diferença máxima de temperatura (em °C) entre os ambientes exterior e interior, já registrados em artigos científicos que utilizaram protótipos com sistemas de fachadas verdes/vivas instalados na superfície externa da parede. Quanto maior o valor, maior o isolamento térmico no verão e melhor para o usuário.

Isolamento Térmico no inverno: medido no percentual de diminuição da perda de calor do ambiente interno em porcentagem. Quanto maior o valor deste parâmetro, melhor a condição para o usuário.

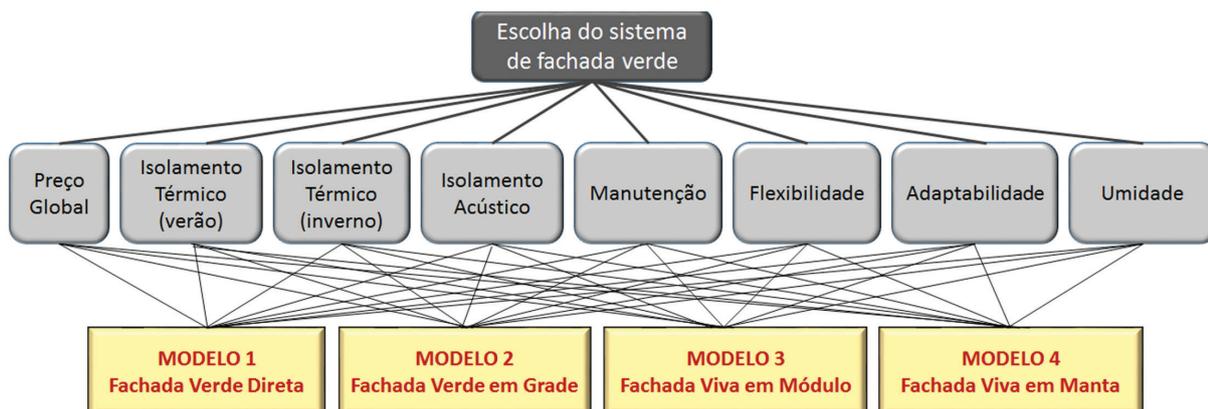


Figura 4. Representação Hierárquica para tomada de decisão.

Figure 4. Hierarchical Representation for decision-making.

Isolamento Acústico: se refere à perda de inserção, ou seja, a diferença em decibéis do nível do som a um nível específico do receptor, antes e depois da instalação dos sistemas de fachadas verdes como barreiras acústicas, diante das mesmas condições de medição e ambientação física. Neste caso, está sendo simulada uma parede com 100% de cobertura vegetal, a unidade de medida é decibéis e quanto maior o valor, maior a capacidade de isolamento acústico e melhor o desempenho.

Manutenção: necessidade de o sistema ser reparado, através da poda ou troca de plantas, bem como a troca ou reparo dos materiais de sustentação ou irrigação. Neste trabalho a manutenção está sendo classificada nos períodos mensal, semestral e anual. Neste parâmetro, quanto maior o tempo necessário entre os serviços de manutenção, melhor para o usuário.

Flexibilidade: a capacidade de o material ser instalado e desinstalado com rapidez e facilidade, de modo a poder ser reinstalado em outro local sem perder as plantas e os materiais. Este parâmetro foi classificado com Sim (S) ou Não (N), sendo considerado como flexível ou não flexível, respectivamente.

Adaptabilidade à forma da superfície: Definido como a possibilidade do sistema se adequar a condições físicas mais elaboradas, como paredes curvas, com chanfros ou recuos. Este parâmetro também foi classificado como Sim (S) ou Não (N) sendo que o sistema adaptável é a melhor condição para o usuário.

Umidade: neste caso, avaliado como potencial da técnica de gerar futuros problemas de umidade na superfície instalada. Também foi classificado como Sim (S) ou Não (N), mas neste caso, a melhor condição para o usuário é a resposta não.

Definidas as variáveis, foi elaborado um banco de dados com informações quantitativas e qualitativas, baseados nos resultados de publicações científicas e de

referências bibliográficas dos principais autores especializados no assunto (Tabela 1).

Análise hierárquica

A matriz de decisão deste trabalho foi elaborada com o conhecimento técnico sobre o assunto, para se obter o posicionamento final de acordo com a importância de cada critério (Tabela 2). Para isso, utilizou-se uma escala de importância indicada pela norma ASTM E 1765 (ASTM, 2011) para estimativa de um peso relativo para cada critério. Essa norma americana trata da aplicação de *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para análise de decisões relacionadas a investimentos na área de construções e de sistemas construtivos.

Com a escala de importância definida, foi realizada uma comparação por pares de um critério em relação ao outro, verificando o grau de importância entre eles. Deve-se notar que a escala da Tabela 2 faz referência a “A” sendo mais importante do que “B”. De acordo com Pereira *et al.* (2012) e Mattana *et al.* (2012), quando ocorre o contrário, ou seja, “A” é menos importante do que “B”, é só usar o valor invertido. Um exemplo disso, usando as considerações da Tabela 2, é que o Isolamento Acústico foi considerado levemente menos importante do que o Preço Global e, deste modo, sua nota foi 1/3 na Tabela 2.

Na montagem da matriz hierárquica, o peso de cada critério foi pontuado conforme o entendimento técnico dos autores e de um grupo técnico de participantes (arquitetos e empresas que trabalham com fachadas verdes no mercado de trabalho). Em sua montagem, pode-se observar que:

Os critérios preço global e manutenção são considerados igualmente importantes na comparação entre ambos com pontuações iguais nos cinco primeiros critérios. De certo modo, é coerente porque ambos os parâmetros apresentam impacto econômico para o cliente.

Tabela 1. Banco de dados.

Table 1. Database.

Tipos de fachadas	Banco de dados							
	Preço global (R\$/m ²)	Isolamento térmico no verão (°C)	Isolamento térmico no inverno (%)	Isolamento acústico 125-250 Hz (dB)	Manutenção	Flexibilidade	Adaptabilidade	Umidade
Fachada Verde Direta (FVD)	5,00	1,30 ⁸	25 ⁵	5,0 ⁵	An ¹	N	S	S ⁷
Fachada Verde em Grade (FVG)	64,27	4,36 ³	0	9,9 ⁶	An	N	S	S ⁷
Fachada Viva em Módulo (FVMO)	652,00 ⁴	8,00 ³	40,68 ³	2,2	Se ⁴	S	N	N ⁴
Fachada Viva em Manta (FVMA)	870,00	10,30 ³	40,68 ³	5,6	Me ²	S	S	N ³

Notas: Se = semestral; Me = Mensal; An = Anual.

Fontes: (1) Dunnet e Kingbury (2008); (2) Blanc (2012); (3) Wong *et al.* (2010a); (4) Ecotelhado® (2012); (5) Köhler (2008); (6) Wong *et al.* (2010b); (7) Morelli (2009).

Tabela 2. Matriz hierárquica.
Table 2. Hierarchical matrix.

Matriz com análise pareada e peso para cada critério											
Escala de importância de acordo com ASTM E-1765 (2002)		Preço global	Isolamento térmico de verão	Isolamento térmico de inverno	Isolamento acústico	Manutenção	Flexibilidade	Adaptabilidade	Umidade	Total (soma da linha)	Peso relativo
Comparativo	Peso										
A igual a B	1										
A levemente mais importante que B	3										
A mais importante que B	5										
A muito mais importante que B	7										
A extremamente mais importante que B	9										
Preço Global		1,00	0,33	0,33	3,00	1,00	5,00	1,00	3,00	14,66	0,148
Isolamento térmico de verão		3,00	1,00	0,33	3,00	3,00	7,00	1,00	1,00	19,33	0,195
Isolamento térmico de inverno		3,00	3,00	1,00	3,00	3,00	7,00	1,00	1,00	22,00	0,222
Isolamento acústico (dB)		0,33	0,33	0,33	1,00	0,33	1,00	0,33	0,33	3,98	0,040
Manutenção		1,00	0,33	0,33	3,00	1,00	3,00	0,33	1,00	9,99	0,101
Flexibilidade		0,2	0,14	0,14	1,00	0,33	1,00	0,20	1,00	4,01	0,040
Adaptabilidade		1,00	1,00	1,00	3,00	3,00	5,00	1,00	1,00	16,00	0,161
Umidade		0,33	1,00	1,00	3,00	1,00	1,00	1,00	1,00	9,33	0,094
TOTAL										99,30	1,00

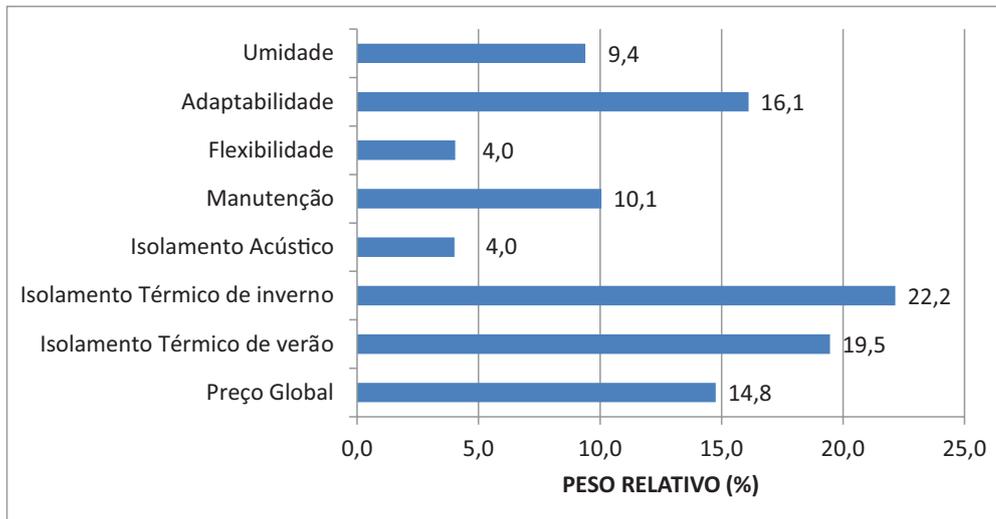


Figura 5. Grau de importância dos critérios em porcentagem.
Figure 5. Degree of importance of the criteria (percentage).

Isolamento térmico de verão e de inverno possuem pontuações de comparação semelhantes em relação aos outros critérios, porém na comparação entre eles, a importância maior foi do isolamento térmico do inverno, devido à predominância do clima frio ao longo do ano em Curitiba.

O critério adaptabilidade foi considerado levemente mais importante comparado com os critérios de isolamento acústico e manutenção. Para o caso da flexibilidade, a adaptabilidade foi considerada mais importante e as demais comparações foram consideradas de igual importância.

O critério umidade foi igualado aos critérios de isolamento térmico, manutenção, adaptabilidade e flexibilidade, sendo neste caso o mais neutro de todos.

O critério flexibilidade foi pontuado em quase todas as comparações como menos importante em relação aos outros, com exceção aos comparativos isolamento acústico e umidade, onde foi considerado como igualmente importante.

É importante salientar que a avaliação por análise hierárquica é uma ferramenta aberta à opinião do decisor. Desse modo, os pesos da Tabela 2 refletem a opinião do

Tabela 3. Desempenho das alternativas.**Table 3.** Performance of alternatives.

Desempenho das alternativas									
Avaliação dos dados (banco de dados)	Peso	Preço global	Isolamento térmico de verão	Isolamento térmico de inverno	Isolamento acústico	Manutenção	Flexibilidade	Adaptabilidade	Umidade
Ótimo	2								
Regular	1								
Ruim	0								
Tipos de fachada									
Fachada Verde Direta (FVD)		1/5	1,30	25	5,00	2	0	2	0
Fachada Verde em Grade (FVG)		1/64,27	4,36	0	9,00	2	0	2	1
Fachada Viva em Módulo (FVMO)		1/652	8,00	40,68	2,20	1	2	0	2
Fachada Viva em Manta (FVMA)		1/870	10,30	40,68	5,60	0	1	2	2

grupo envolvido neste trabalho, porém o principal foco deste trabalho é a metodologia proposta, dando suporte a racionalização da escolha do sistema de fachada vertical em função das prioridades estabelecidas por um decisor que pode ser o projetista e/ou o cliente.

Com a atribuição de todos os pesos a todos os critérios, o total da soma de cada critério (soma das linhas) é dividido pelo total da soma de todos os critérios (soma da coluna “Total”), criando-se assim um peso relativo a cada um deles (coluna “Peso relativo” da Tabela 2). É através desse peso que se estabelece uma conclusão final sobre o grau de importância de cada um deles, e então, foi criada uma lista de posicionamento dos critérios de acordo com o valor do peso relativo de cada um. A Figura 5 mostra em porcentagem o grau de importância de cada critério de acordo com a avaliação realizada.

Posicionado cada critério de acordo com seu peso relativo, a matriz hierárquica foi submetida ao teste de razão de consistência (RC). De acordo com Saaty (2012), a Razão de Consistência avalia a inconsistência em função da ordem da matriz em julgamento.

Saaty (2012) ainda ressalta que para a matriz ser considerada consistente, sua Razão de Consistência (RC) deve ter um valor inferior a 0,1. Neste trabalho a Razão de Consistência encontrada foi de 0,087, sendo, portanto, uma matriz de AHP consistente.

Concluída a consistência da matriz, foi construída uma nova tabela pontuando os critérios de todos os quatro sistemas de acordo com os resultados obtidos no banco de dados (Tabela 3).

Para pontuar os critérios de cada tipo de fachada verde, foram usados dados quantitativos nos quatro primeiros critérios, sendo eles os mesmos valores do banco de dados, e dados qualitativos para os quatro últimos critérios, em uma escala de 0 a 2, como indicado na Tabela 3. Esta escala foi empregada para os critérios: Manutenção, Flexibilidade, Adaptabilidade e Umidade. No caso da manutenção, a classificação já é composta por 3 níveis (Mensal = nota 0; Semestral = Nota 1 e Anual =

Nota 2). Para a flexibilidade e adaptabilidade o padrão de resposta é binário, porém, manteve-se os 3 níveis de modo que a resposta “Não = Nota 0” e a resposta Sim pode ser convertida em Nota 1 ou 2 para dar a possibilidade de o decisor classificar o nível de adaptabilidade e flexibilidade como regular ou ótimo. No caso da umidade, o padrão de resposta também é binário (Sim ou Não), porém, o comportamento é invertido em relação aos dois anteriores, pois a entrada de água na parede é considerada uma falha de desempenho para o usuário.

No caso do preço global foi preciso pontuar positivamente os menores valores, pois quanto menor o preço global, melhor para o usuário. Para que essa leitura fosse possível, os valores do preço global foram transformados em valores inversos de $1/\text{preço}$. Assim, preços altos obtiveram baixos valores e vice-versa, tornando a tendência deste parâmetro diretamente proporcional ao benefício do usuário como todos os outros parâmetros avaliados neste trabalho.

Resultados

Os valores obtidos na classificação de cada um dos quatro sistemas, de acordo com suas características, foram inseridos na Tabela 4 onde cada valor de uma dado critério (linha) foi dividido pelo maior valor desta mesma linha do critério. Por exemplo, no caso do critério Preço Global, para se obter os dados normalizados, os valores desta variável para os quatro sistemas de fachadas vegetais foram divididos por 0,20, maior valor da linha. Esta prática se chama normalização dos dados e tem a função de fazer com que todos os critérios sejam representados em uma escala padrão que varia de 0 a 1. Em seguida, cada valor obtido por essa divisão foi multiplicado pelo peso relativo de cada critério, como já representado na última coluna da Tabela 2. Por fim, fez-se uma última somatória dos valores de cada sistema, obtendo uma pontuação final na qual o maior valor pontuado entre os quatro sistemas é considerado a melhor indicação.

Tabela 4. Resultados finais.**Table 4.** Final results.

	Resultados												
	FVD	FVG	FVMO	FVMA	Dados normalizados					Dados normalizados x peso relativo			
					FVD	FVG	FVMO	FVMA	Peso Relativo	FVD	FVG	FVMO	FVMA
Preço global	0,20	0,015	0,001	0,001	1	0,075	0,005	0,005	0,148	0,148	0,011	0	0,0007
I.T.(verão)	1,30	4,36	8,00	10,30	0,126	0,423	0,776	1	0,195	0,025	0,082	0,151	0,195
I. T.(inverno)	25,00	0	40,68	40,68	0,614	0	1	1	0,222	0,136	0	0,222	0,222
I.Acústico	5,00	9,90	2,20	5,60	0,505	1	0,222	0,565	0,040	0,020	0,040	0,009	0,023
Manutenção	2	2	1	0	1	1	0,5	0	0,101	0	0,101	0,050	0
Flexibilidade	0	0	2	1	0	0	1	0,5	0,040	0	0	0,040	0,020
Adaptabilidade	2	2	0	2	1	1	0	1	0,161	0,161	0,161	0	0,161
Umidade	0	1	2	2	0	0,5	1	1	0,094	0	0,047	0,094	0,94
									100	0,59	0,44	0,57	0,70
										Total (Desempenho)			

Quadro 1. Ordem de preferência usando Análise Hierárquica.

Chart 1. Order of preference using Analytic Hierarchy Process.

1º Lugar (melhor indicação)	Fachada Viva com Manta (FVMA)
2º Lugar	Fachada Verde Direta (FVD)
3º Lugar	Fachada Viva com Módulo (FVMO)
4º Lugar	Fachada Verde em Grade (FVG)

O resultado final indica que o sistema mais adequado a ser utilizado na cidade de Curitiba, sobre a ótica dos decisores participantes deste trabalho, é o sistema de Fachada Viva com Manta (FVMA). Em segundo lugar ficou o Sistema de Fachada Verde Direto (FVD). No terceiro e quarto lugares ficaram, respectivamente, os sistemas de Fachada Viva em Módulo (FVMO) e em Grade (FVG), conforme mostra o Quadro 1.

Com a pontuação final de cada sistema obtida na Tabela 4 foi possível também elaborar um índice de satisfação de cada sistema em relação aos critérios propostos, transformando os resultados finais em porcentagem, conforme mostra a Figura 6.

Este índice de satisfação foi calculado com a Equação 1.

$$IS = \frac{DA}{(\sum DA)} \quad \text{Equação 1}$$

Onde: IS é o índice de satisfação da alternativa X; A é o desempenho da alternativa X e $\sum DA$ é o somatório dos desempenhos das alternativas.

Assim, foi possível concluir que 30,17% de toda pontuação foi atribuída a Fachada Viva em Manta, 26,72% a Fachada Verde em Grade, 22,8% a Fachada Viva em Módulo e 20,25% a Fachada Verde em Grade.

Discussão dos resultados

Definido o Sistema de Fachada Viva com Manta (FVMA) como a melhor solução de sistema para a cidade de Curitiba, pode-se analisar os resultados obtidos e fazer algumas considerações:

A Fachada Viva com Manta (FVMA) tem os melhores indicadores de isolamento térmico no inverno e verão e apesar de ser uma técnica recente no mercado assim como os sistemas de módulo, esta apresentou vantagem principalmente pela sua adaptabilidade, já que sua estrutura de sustentação é feita de peças que podem ter medidas de comprimento de diferentes tamanhos, o que facilita na montagem de uma parede curva ou com recuos. Outra observação relevante é que a desvantagem de pontuação quanto ao preço global e constante manutenção não impediu que ela se tornasse a melhor opção. Vale destacar que os materiais e o processo construtivo deste tipo de sistema podem ser otimizados em instalações de pequenas proporções, optando por materiais alternativos (trocando o suporte metálico por um de madeira, por exemplo) reduzindo o custo total.

A Fachada Verde Direta (FVD), estando em segundo lugar, revela-se como uma opção de melhor custo-benefício, pois a economia se faz tanto na compra do material quanto na manutenção. Porém, sua escolha somente se justifica se as superfícies da parede onde o sistema for instalado estiver em bom estado de conser-

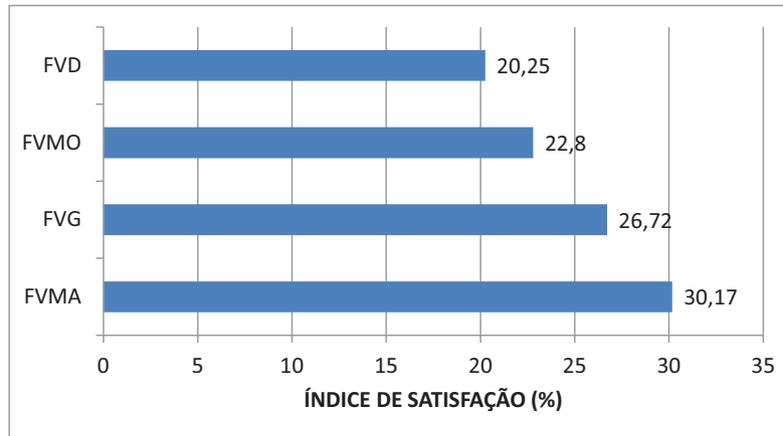


Figura 6. Índice de satisfação de cada sistema.

Figure 6. Satisfaction index of each system.

vação e de preferência que não seja de madeira ou outros materiais que absorvam muita umidade.

A Fachada Viva com Módulo (FVM), apesar de ser a mais flexível e com bons indicadores de isolamento térmico, apresenta como principais desvantagens o alto preço de instalação e falta de adaptabilidade, pois neste caso os módulos são vendidos em dimensões padronizadas e, portanto, não são os módulos que se adaptam a parede, mas sim a parede aos módulos.

A Fachada Verde com Grade (FVG), apesar de ser uma técnica eficiente em regiões de clima quente contribuindo para o aumento da carga de arrefecimento no edifício, apresentou-se neste trabalho como a técnica menos indicada. Tal conclusão pode ser ligada ao fato de que o sistema é instalado a alguns centímetros da superfície da parede e dependendo desta distância entre ambos, a influência como um retardador na perda de calor interno pela parede no período de frio (fator importante a ser considerado na cidade de Curitiba) não terá influência significativa.

É importante evidenciar o fato de que a maior contribuição deste trabalho é a proposição do emprego da técnica *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para a escolha do melhor sistema de fachadas verticais a ser implantado em cada caso. Desse modo, as classificações relativas aos critérios e premissas consideradas foram basicamente necessárias para ilustrar a versatilidade e adequação do emprego da AHP neste tipo de decisão. Neste contexto, é importante enfatizar que o sistema é totalmente aberto e adaptável a inserção dos valores do decisor, seja ele o engenheiro, o arquiteto, o empreiteiro ou mesmo o usuário direto do sistema de fachada vegetal que domine minimamente a técnica de AHP. Isso significa que a classificação resultante desta aplicação de AHP não é universal e está vinculada a uma aplicação na cidade de Curitiba e sobre a ótica das

convicções dos decisores deste trabalho, que foram os autores deste artigo.

Neste sentido, pode-se dizer que o resultado do trabalho é o processo de escolha baseado em AHP aplicado a necessidade de especificação de um sistema de fachada vegetal.

Conclusão

Ponderar critérios na tomada de decisão pode esclarecer fatos, antes não considerados, para a pessoa que está tomando decisões. No caso da Análise Hierárquica é fundamental ter um banco de dados atualizado, completo e preciso para dar suporte a tomada de decisão. Quanto maior e mais completo for o banco de dados, mais fácil será o entendimento entre a relação dos critérios e entre a alternativa escolhida como melhor na comparação.

No caso da escolha de um sistema de Fachadas Vegetais, a opção de Fachada Viva com Manta é a que tem custo de compra, instalação e manutenção mais elevadas, porém maiores benefícios na opinião dos decisores deste trabalho. Sem a aplicação da Análise Hierárquica, em um julgamento superficial e sem avaliação de prioridade dos critérios, o FVMA escolhido, poderia facilmente ser descartado devido ao preço mais elevado, porém, a avaliação racional empregando a técnica de AHP possibilitou a ponderação das outras vantagens do sistema em contraposição ao custo.

O resultado deste trabalho possibilita concluir que são importantes outras pesquisas científicas sobre as técnicas de instalação de Fachadas Vegetais para edifícios, que visam melhorar seu desempenho na edificação, bem como simplificar sua forma de manutenção e seu custo de implantação.

Vale lembrar que os resultados obtidos nesse trabalho foram encontrados de acordo com apenas 8 critérios

estabelecidos por estes pesquisadores e baseados em um banco de informações elaborado previamente. No caso de inclusão de mais critérios ou substituição dos mesmos usados neste trabalho, os resultados podem variar. No entanto, o trabalho mostra a versatilidade da técnica de AHP na escolha de sistemas de Fachadas Vegetais a serem adotadas nas edificações. Desse modo, uma contribuição do trabalho foi evidenciar a aplicação, de modo que a rede de critérios pode variar inclusive de decisor para decisor em função de suas prioridades pessoais com relação a cada critério. Este agente decisor pode ser arquitetos e engenheiros ou mesmo clientes interessados em ter um sistema de fachada vegetal em sua edificação. Também não precisa ser um só agente, ou seja, pode ser um grupo de decisores.

A mesma regra se aplica em relação ao contexto Geográfico, pois o sistema escolhido foi considerado o melhor apenas para a cidade de Curitiba, devido às condições bioclimáticas locais, não sendo necessariamente o melhor em outras cidades e regiões.

Para futuros trabalhos, recomenda-se a aplicação do método de Análise Hierárquica com a inclusão de outros sistemas de Fachadas Vegetais, outros critérios ou também outras regiões com climas diferentes a serem considerados.

A aplicação da AHP montada neste estudo teve como resultado a classificação a seguir, que consiste em uma organização em ordem decrescente de desempenho: Fachada Verde em Manta (FVMA) > Fachada Verde em Grade (FVG) > Fachada Verde em Módulo (FVMO) > Fachada Verde Direta (FVD).

Referências

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2011. ASTM E 1765. *Standard practice for applying analytical hierarchy process (AHP) to multiattribute decision analysis of investments related to buildings and buildings systems. Annual book of ASTM standards.* [s.l.], ASTM International, 14 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 2005. NBR 15220-3. *Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.* [s.l.], Associação Brasileira de Normas Técnicas, 30 p.
- BLANC, P. 2012. *The Vertical Garden: from nature to the city.* 2ª ed., London, W.W. Norton & Company, 208 p.
- DUNNETT, N.; KINGSBURY, N. 2008. *Planting Green Roofs and Living Walls.* Portland, Inc. Timber Press, 336 p.
- GRUNBERG, P.R.M.; MEDEIROS, M.H.F.; TAVARES, S.F. 2014. Certificação ambiental de habitações: comparação entre LEED for Homes, Processo AQUA e Selo Casa Azul. *Ambiente e Sociedade*, **17**(2):195-214. <http://dx.doi.org/10.1590/S1414-753X2014000200013>
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). 2012. Disponível em: www.inmet.gov.br. Acesso em: 10/11/2014.
- INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA (IPPUC). 2012. Disponível em: <http://www.ippuc.org.br>. Acesso em: 10/11/2014.
- KÖHLER, M. 2008. Green facades – a view back and some visions. *Urban Ecosyst*, **11**:423-436. <https://doi.org/10.1007/s11252-008-0063-x>
- MATTANA, A.J.; MEDEIROS, M.H.F.; SILVA, N.G.; COSTA, M.R.M.M. 2012. Análise hierárquica para escolha entre agregado natural ou areia de britagem de rocha para confecção de argamassas de revestimento. *Ambiente Construído*, **12**(4):63-79. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212012000400006>
- MORELLI, D.D.O. 2009. *Paredes verdes: vegetação como qualidade ambiental no espaço construído.* Campinas, SP. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, 190 p.
- PÉREZ, G.; RINCÓN, L.; VILA, A.; GONZÁLEZ, J.M.; CABEZA, L.F. 2011. Behaviour of Green facades in Mediterranean Continental climate. *Energy Conservation and Management*, **52**(4):1861-1867. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.11.008>
- PEREIRA, E.; LEVY, S.M.; MEDEIROS, M.H.F. 2012. Durabilidade de concretos com agregados reciclados: Uma aplicação de análise hierárquica. *Ambiente Construído*, **12**(3):125-134. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212012000300009>
- ROAF, S.; CRICHTON, D.; NICOL, F. 2009. *A adaptação de edificações e cidades às mudanças climáticas: um guia de sobrevivência para o século XXI.* 2ª ed., Porto Alegre, Ed. Artmed, 384 p.
- SAATY, T.L. 2012. *Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World.* Pittsburg, R WS Publications, 323 p.
- SHARP, R.; SABLE, J.; BERTRAM, F.; PECK, S. 2008. *Introduction to Green Walls Technology Benefits and Design.* Green Roofs for Healthy Cities. Disponível em: http://www.greenscreen.com/Resources/download_it/IntroductionGreenWalls.pdf. Acesso em: 16/11/2014.
- VALESAN, M. 2009. *Percepção ambiental de moradores de edificações residenciais com peles-verdes em Porto Alegre.* Porto Alegre, RS. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 178 p.
- WONG, N.H.; TAN, A.Y.K.; CHEN, Y.; SEKAR, K.; CHAN, P.Y.T.D.; CHIANG, K.; WONG, N.C. 2010a. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Buildings and Environment*, **45**(3):663-672. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.005>
- WONG, N.H.; TAN, A.Y.K.; TAN, P.Y.; CHIANG, K.; WONG, N.C. 2010b. Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment*, **45**(2):411-420. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.017>
- WONG, N.H.; TAN, A.Y.K.; TAN, P.Y.; WONG, N.C. 2009. Energy simulation of vertical greenery system. *Energy and Buildings*, **41**(12):1401-1408. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.08.010>
- YEANG, K. 2001. *The Green Skyscraper: The Basis for Designing Sustainable Intensive Buildings.* Barcelona, Ed. Gustavo Gilli, 184 p.

Submetido: 16/11/2014

Aceito: 11/07/2017