



## **DETERMINAÇÃO DO PERCENTUAL DE ÁREA DE ABERTURA NA FACHADA (PAF) EM PROTEÇÕES SOLARES COM VEGETAÇÃO – CORTINAS VERDES**

**Minéia Johann Scherer (1); Beatriz Fedrizzi (2)**

(1) Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, mineiaarq@gmail.com

(2) Doutora, Professora do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, beatrizfedrizzi@gmail.com  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Programa de Pesquisa e Pós-graduação em  
Arquitetura – PROPAR, Porto Alegre, Tel.: (51) 3308 3485

### **RESUMO**

A utilização de elementos de proteção solar constitui importante estratégia para a eficiência energética das edificações. Diferente dos sistemas convencionais, o uso da vegetação como proteção solar em fachadas, na forma da *cortinas verdes*, pode apresentar benefícios na medida em que responde de forma dinâmica às variações do clima e das estações, além de ser um elemento natural e de baixo impacto ambiental. O objetivo deste artigo é apresentar uma proposta para determinação do PAF: Percentual de Área de Abertura na Fachada, em proteções solares com vegetação trepadeira. A metodologia tem como base a construção de um protótipo experimental de campo, onde três espécies de vegetação trepadeira estão desenvolvidas e foram fotografadas. As imagens obtidas no local foram tratadas com o auxílio do software Adobe Photoshop®, o que permitiu o cálculo do PAF em uma região delimitada de 1,0 m<sup>2</sup> das plantas, bem como em áreas mais restritas de nove sub-regiões. Os resultados evidenciaram a viabilidade do método de análise e cálculo, assim como o bom desempenho das espécies de vegetação trepadeira como elemento de proteção solar em arquitetura. No entanto, conclui-se que existe a necessidade de uma avaliação completa durante um ano, de forma a gerar dados que possam diferenciar a eficiência energética das *cortinas verdes* no decorrer das variações sazonais.

Palavras-chave: cortinas verdes, proteção solar, eficiência energética.

### **ABSTRACT**

The use of solar protection elements is an important strategy for the energy efficiency of buildings. Unlike conventional systems, the use of the vegetation as sunscreen on facades, in the form of green curtains may have advantages reacting dynamically to variances of the climate and of seasons, this technique is also an element natural and has low environmental impact. The objective of this paper is to present a proposal for determination of PAF: Percentage of Area Opening the Facade, in sun protection with climbing vegetation. The method is based on the construction of an experimental prototype of field, where three species of climbing vegetation were developed and photographed. The images obtained in place were treated with the aid of Adobe Photoshop® software, which allowed the calculation of PAF in a delimited region by 1.0 m<sup>2</sup> of the plants as well as in more restricted areas of nine sub regions. The results showed the feasibility of the method of analysis and calculation, and also the good performance of the species of creeper vegetation as protection element in solar architecture. However, it is concluded that there is a need for thorough evaluation for a year, in order to generate data that can distinguish the energy efficiency of green curtains during the seasonal variations.

Keywords: green curtains, sun protection, energy efficiency.

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo da influência do clima é um dos condicionantes mais relevantes para a produção arquitetônica em uma determinada região. Os fechamentos são os principais agentes de controle para o maior ou menor acesso da luz e calor oriundos do Sol, sendo que o desempenho térmico das edificações depende basicamente da forma como esses elementos construtivos interagem com as condições climáticas, permitindo ou impedindo a transferência térmica para o ambiente interno.

A maior parte do território brasileiro possui grande incidência de radiação solar e altas temperaturas o ano todo. Mesmo na região sul, onde a latitude é maior, o verão registra temperaturas elevadas. Sendo assim, deve-se evitar o excesso de insolação nos ambientes internos, o que provoca indesejável carga energética. A solução, na maioria das vezes, pode ser obtida com a adoção de dispositivos de proteção solar, sobretudo para as áreas transparentes de fachada, de forma a bloquear ou redirecionar a incidência dos raios solares.

A vegetação, mesmo sendo um elemento natural, possui uma estrutura de galhos e folhas capazes de minimizar a passagem da radiação. No entanto, para ser caracterizada como dispositivo de proteção solar, entende-se que a forma de aplicação não pode se limitar ao entorno imediato, térreo e desconectado da edificação, e sim deve ser articulada de forma a ser funcional e compor arquitetonicamente toda a região de fachada em que o sombreamento é necessário.

Assim sendo, este artigo é parte integrante da tese de doutorado da autora, que está em andamento e tem como objeto de investigação a aplicabilidade de um dispositivo de proteção solar com vegetação, cuja denominação mais utilizada a nível mundial é *cortina verde*, do termo em inglês *green curtain*. As *cortinas verdes* se caracterizam pelo desenvolvimento de uma vegetação trepadeira, com auxílio de suportes, posicionada em frente e afastada das superfícies verticais da edificação, sejam elas fachadas opacas ou regiões transparentes.

Atualmente, com o aumento gradativo de conhecimento e disponibilidade técnica, as *cortinas verdes* estão assumindo seu papel na arquitetura, sistematizando o uso da vegetação trepadeira no controle solar e também como elemento de composição arquitetônica, cumprindo uma importante função e proporcionando marcante efeito visual. Possui como principais vantagens ser um elemento natural e de baixo impacto ambiental, responder de forma dinâmica às variações do clima e das estações, além de ser uma nova possibilidade de revegetação para as cidades. Alguns exemplares significativos de edificações construídas com esta técnica já podem ser encontrados em todas as partes do mundo, como se observa nas imagens da Figura 1, de edificações no Chile, Europa e países asiáticos.

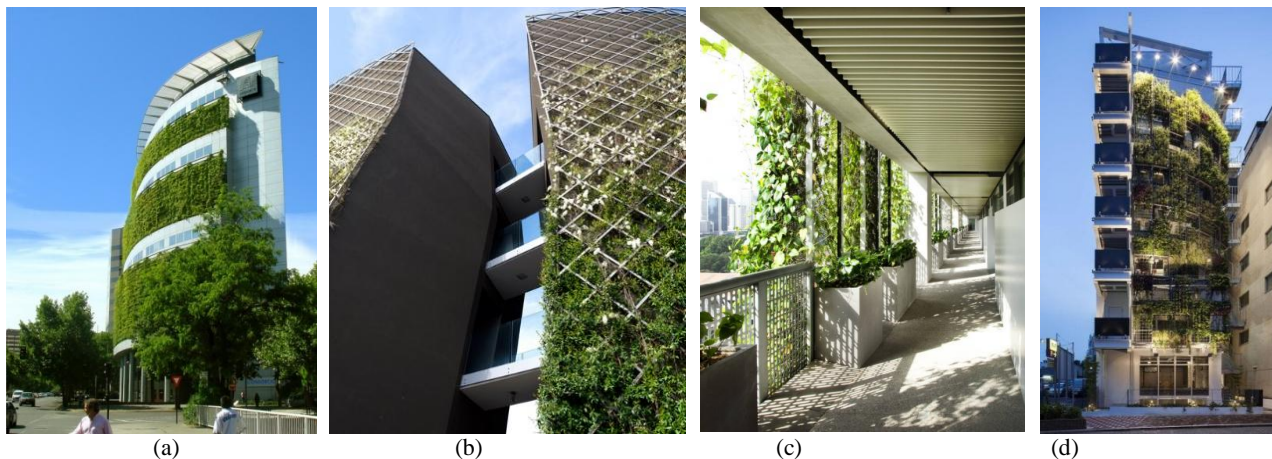


Figura 1 – Edificações construídas com cortinas verdes. a) Arquiteto Enrique Browne no Chile; b) Arquiteto Mario Cucinella, na Itália; c) WOHA Arquitetos em Cingapura; d) Arquiteto Edward Suzuki no Japão (ENRIQUE BROWNE Y ASOCIADOS, 2013; MARIO CUCINELLA ARCHITECTS, 2013; ARCHDAILY, 2013; CONTEMPORIST, 2013).

A maioria dos métodos de cálculo e simulação computacional que tem o intuito de avaliar a eficiência energética de uma edificação possui, em seu banco de dados, diversas combinações de tipos de vidro e proteções solares conhecidas e já avaliadas em laboratório. No caso da não existência de condição igual, na maioria das vezes é possível a substituição por condição similar, sem erros percentuais graves. Um dispositivo de proteção solar convencional será dimensionado com unidades de tamanho fixo, que não se alteram com o tempo, sendo que a maior possibilidade de variação estará relacionada ao movimento de abrir ou fechar suas aletas ou orifícios. Neste caso, é possível considerar facilmente uma situação intermediária ou de exposição máxima, conforme o que determina o critério que está sendo utilizado.

As *cortinas verdes*, por sua vez, serão vastamente dinâmicas em sua capacidade de sombreamento, por ser um elemento vivo e que sofre alterações ao longo do seu crescimento, das variações sazonais e por causas adversas, seja interferência humana, variações climáticas ou problemas de adaptabilidade. Além disso, cada espécie de vegetal possui características diferenciadas que irão influenciar no desempenho como elemento de proteção solar, como por exemplo, o maior ou menor grau de fechamento da folhagem, sua velocidade de crescimento, seu porte, folhas perenes ou caducifólias. Estes aspectos também sofrem variações dependendo das condições de plantio, adubação e irrigação, podendo ser intensificados ou apassivados.

Este dinamismo gera dificuldade de previsão da condição da vegetação ao longo do tempo e, por conseguinte, de quantificação de sua capacidade de sombreamento, de forma a ser possível avaliar sua influência no desempenho energético das edificações, quando aplicado em procedimentos de cálculo ou simulação computacional. Mesmo com esta dificuldade evidente, algumas pesquisas a nível mundial estão procurando métodos que validem o uso das *cortinas verdes*, trabalhando com médias em alguns tipos de vegetação e considerando alguma variação sazonal. Considera-se, pela contemporaneidade do tema e pelo interesse cada dia mais evidente no uso das *cortinas verdes* em projetos de arquitetura, que esta busca científica, alicerçada em bases metodológicas consistentes, é de grande valia e necessária para o aprimoramento e difusão desta técnica.

Um dos primeiros estudos relevantes realizados em laboratório e focados no uso da vegetação como elemento de proteção solar foi desenvolvido por Stec, Passen e Maziarz (2005), com o objetivo de avaliar o rendimento térmico e as habilidades de um sistema com vegetação trepadeira localizado na cavidade de fachadas duplas envidraçadas, comparando seu desempenho com um sistema de veneziana tradicional. Os resultados demonstraram que o sombreamento com plantas se mostra mais eficaz do que com venezianas, com redução da temperatura superficial e na camada interna.

Outro estudo importante, este realizado *in loco*, foi a avaliação do comportamento energético do edifício Consorcio Santiago, no Chile, apresentado na Figura 1-a. O edifício foi analisado por Reyes (2002 apud BROWNE, 2007), comparando dois pavimentos do prédio: um sem a vegetação como elemento de sombreamento e outro com a *cortina verde*. O resultado apontou que o pavimento protegido consome 35% menos de energia, como uma redução de 25% nos custos. Isto demonstra, mesmo que ainda empiricamente, os benefícios térmicos e energéticos da adoção desta solução.

Por sua vez, Pérez (2010) realizou uma investigação sobre o comportamento de *cortinas verdes* no clima mediterrâneo continental seco da Espanha. O experimento foi elaborado com o objetivo de comparar o crescimento de quatro diferentes espécies de vegetação trepadeira e sua capacidade de fornecer sombra. Os resultados demonstraram que a desempenho de bloqueio da radiação solar das plantas pode ser comparado aos melhores índices alcançados por barreiras artificiais, o que favorece a sua aplicação como elemento de proteção solar em fachadas. O fator de transmissão de luz mais favorável foi o da *Parthenocissus quinquefolia*, que atingiu uma média de 0,15.

Outro experimento, realizado na Universidade de Brighton (Reino Unido) por Ip, Lam e Miller (2010), teve como objetivo principal a elaboração de uma metodologia para a determinação de um coeficiente de sombreamento dinâmico, chamado “Bioshading”, que refletisse um ciclo anual de crescimento da planta. Para tanto, foram instaladas duas *cortinas verdes* em salas de escritório, com a espécie *Parthenocissus quinquefolia*, sendo os dados de radiação solar coletados regularmente, em frente e atrás da vegetação. A transmitância solar chegou a 0,47 no verão, reduzindo gradativamente até 0,95 no período sem folhas.

Mais recentemente, na Tailândia, país que vem adotando políticas de incentivo ao uso da vegetação em jardins verticais e, especialmente, na forma das *cortinas verdes* para sombreamento, os pesquisadores Sunakorn e Yimprayoon (2011) estudaram o uso de plantas trepadeiras como dispositivos de sombra verticais, aplicando a espécie *Thunbergia grandiflora* na fachada oeste de uma sala de aula ventilada naturalmente. O objetivo principal do experimento era comparar a temperatura interna desta sala com outra de mesmas condições, localizada ao lado, porém sem a *cortina verde*. Os resultados demonstraram que a temperatura interna ficou menor no ambiente com a vegetação, sobretudo durante o dia, devido ao sombreamento causado pela planta e também pelo processo de evapotranspiração do vegetal.

No Brasil, as pesquisas sobre sistemas verdes em fachadas são ainda mais recentes e escassas. Um dos poucos estudos foi desenvolvido por Morelli (2009), com o objetivo de avaliar, através de um experimento em células-teste, o desempenho térmico da espécie *Parthenocissus Tricuspidata*. Comprovou uma diminuição da temperatura interna de, em média, 0,9°C na célula-teste com trepadeira aderente e de até 2,6°C na célula-teste com trepadeira sobre treliça afastada da parede.

Todos estes estudos evidenciam que os aspectos positivos, os benefícios do uso da vegetação superam os possíveis pontos negativos, embora estes possam ser decisivos no momento do planejamento da edificação. Certamente ainda existe uma grande hesitação na área da arquitetura e construção civil em

implementar sistemas verticais com vegetação. Isto se deve, entre outros aspectos, aos custos iniciais envolvidos, necessidade de conhecimento técnico adequado, de manutenção extra, possibilidade de gerar patologias ou atrair fauna indesejada.

Van Bohemen, Fraaij e Ottele (2008) comentam que existe uma crença generalizada de que as plantas causam deterioração nos edifícios, que danificam o revestimento e suas raízes podem comprometer o sistema estrutural. Os mesmos autores sugerem, no entanto, que esses problemas podem ocorrer sobretudo em situações de escolha inadequada do tipo de vegetação ou quando já existem patologias que são aceleradas pelo crescimento das plantas, como é o caso de fissuras de revestimento ou estruturais.

Em uma análise financeira, desta forma, deve-se considerar no cálculo do custo/benefício outros aspectos que direta ou indiretamente afetam o ciclo de vida em longo prazo da edificação: menores custos de energia para climatização, aumento do valor estético e ecológico, possibilidade de valorização do imóvel ou de melhor condição de vida para os ocupantes.

Obviamente diversas recomendações devem ser observadas para o sucesso na implementação de sistemas verticais com vegetação, sendo que Sheweka e Mohamed (2012) recentemente resumiram alguns:

- A vegetação a ser introduzida na fachada deve ser cuidadosamente escolhida, considerando sua estrutura natural, adaptabilidade climática e também o ambiente árduo da área urbana.
- A vegetação deve ser localizada de forma a receber quantidade necessária de sol, a maior parte do tempo possível.
- Para a manutenção das plantas introduzidas no plano vertical, deve ser previsto que elas necessitam de quantidade de água suficiente e também de cortes regulares para evitar riscos ou danos.

### 1.1. O Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética (RTQ)

O RTQ, do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), visa estabelecer as condições para classificação do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos, RTQ-C (INMETRO, 2010) e residenciais, RTQ-R (INMETRO, 2012), a fim de obter a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). A etiquetagem considera cinco níveis de classificação, do mais eficiente – Nível A, até o menos eficiente – Nível E, em requisitos de envoltória, sistema de iluminação e condicionamento de ar. Para fins da classificação, possibilita a utilização de dois métodos de avaliação: o prescritivo e o de simulação computacional.

No caso do método prescritivo, a avaliação geral da edificação é dividida em três sistemas: envoltória, iluminação e condicionamento de ar, que são ponderados para classificar a edificação quanto seu nível de eficiência energética. Para a avaliação da envoltória, devem-se considerar os sistemas de sombreamento das aberturas, sendo que a influência de elementos horizontais ou verticais é calculada a partir do Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS) e do Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS). Além disso, outro parâmetro a ser computado é a variável PAF: Percentual de Área de Abertura na Fachada (%). Este índice é calculado como a razão entre a soma das áreas transparentes de uma fachada pela área total da fachada da edificação. Neste caso, elementos de sombreamento posicionados em frente às regiões transparentes são considerados para redução do PAF, como placas perfuradas, brises de aletas ou similares. O Regulamento diz que a abertura a ser contabilizada no PAF é a parcela de vidro vista ortogonalmente através do elemento de proteção solar, conforme ilustra a Figura 2. No caso de proteções solares móveis, a área de abertura a ser contabilizada deve considerar as aletas em sua abertura máxima.

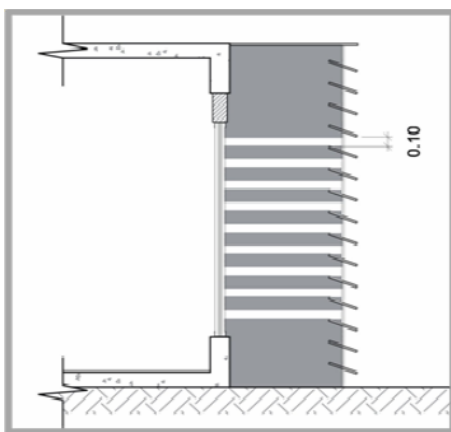


Figura 2 – Parcela da abertura a ser contabilizada para o cálculo do PAF, quando esta for sombreada por elemento de proteção solar (INMETRO, 2010a, p.49)

A avaliação, desta forma, considera somente a área transparente ou translúcida visível através da proteção solar, de forma perpendicular. Uma observação importante que consta no Regulamento é que este tipo de superfície, os elementos de proteção solar em frente às fachadas, não precisa atender às exigências relacionadas com a transmitância térmica da envoltória, exceto a parcela opaca atrás da proteção solar, quando houver. Em outras palavras, para fins do Regulamento, independe o tipo de material utilizado no elemento de proteção solar.

Assim, as *cortinas verdes* podem ser consideradas como elemento de proteção solar que se enquadra na definição e método de cálculo descrito acima, uma vez que pode estar posicionada em frente às aberturas e possui regiões opacas (folhagem) e vazados a serem contabilizados no PAF. A maior dificuldade para a quantificação, no entanto, refere-se ao dinamismo da vegetação, como já mencionado, uma vez que o elemento natural não é estático, se move pela ação do vento e sofre variações sazonais, estando ora com a folhagem mais densa e ora com predomínio de vazados. Também, de acordo com cada espécie, vai se modificar ao longo dos anos pelo crescimento, por vezes mais rápido e em outros casos mais lento. Não existe previsão específica no Regulamento para a aplicação de vegetação como elemento de sombra, nem tampouco consideração sobre variações sazonais, uma vez que o método adota somente um valor de PAF para a avaliação. No entanto, considera-se de grande importância essa diferenciação na estimativa da eficiência energética, especialmente em edificações localizadas em climas compostos, como é o caso da região Sul do país.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar uma proposta para determinação do PAF: Percentual de Área de Abertura na Fachada, em proteções solares com vegetação trepadeira - *cortinas verdes*, tendo como base um experimento de campo.

## 3. MÉTODO

A metodologia deste trabalho está dividida em três etapas principais, detalhadas a seguir: execução de um protótipo experimental, que recria a condição de aplicação das *cortinas verdes*, de forma simplificada e em pequena escala; definição do procedimento de coleta e tratamento dos dados, para fins de determinação do PAF em cada espécie; aplicação do método em uma avaliação piloto, que será discutida nos resultados.

### 3.1. Execução do protótipo experimental

O experimento consiste na construção de um protótipo simplificado, que simula a situação de aplicação das *cortinas verdes*, em pequena escala. O modelo está sendo considerado simplificado por não agregar o elemento edificação ao arranjo, ou seja, considerar somente a *cortina verde*, de forma isolada, sem vínculo com uma área construída específica. O protótipo foi executado na cidade de Formigueiro, distante 60km da cidade de Santa Maria, na região central do Estado do Rio Grande do Sul, situado em campo aberto, não existindo obstruções significativas no entorno próximo que possam causar sombreamento e influenciar nos resultados.

Foi construída uma estrutura com tela metálica (Figura 3-a), com 6,0 metros de comprimento por 1,5 metros de altura, posicionada com as faces da tela voltadas para a orientação Leste e Oeste. O espaço total foi subdividido em cinco regiões de 1,10 metros de largura, espaçadas 0,20 metros entre si. Estas regiões foram destinadas ao desenvolvimento de cinco diferentes espécies de trepadeiras, adaptadas ao clima subtropical do sul do Brasil, sendo cada uma escolhida segundo critérios que permitam a generalização dos dados para outras espécies com características similares. Desde a época do plantio das primeiras mudas, em setembro de 2011, as espécies foram monitoradas em seu crescimento e adaptação, sendo que em dados momentos, algumas, escolhidas inicialmente, foram substituídas por outras que apresentaram melhor resposta às condições necessárias ao experimento. O acompanhamento deste período de consolidação incluiu visitas regulares para irrigação, adubação, fixação dos novos galhos e registro fotográfico.

Assim, para as avaliações relatadas neste artigo, foram selecionadas as espécies que estavam com melhor desenvolvimento, bem adaptadas e vigorosas, depois de decorridos 18 meses de vida, desde o plantio: *Wisteria sp* (Glicínia); *Trachelospermum jasminoide* (Jasmim-leite) e *Thunbergia grandiflora* (Tumbérgia-azul). Destas, a primeira é caducifólia e as outras duas possuem folhagem perene. A avaliação piloto ocorreu no equinócio de outono (final do mês de março de 2013; Figura 3-b), sendo que a espécie caducifólia ainda não havia iniciado o processo de perda das folhas.



Figura 3 – a) estrutura para disposição e apoio de crescimento das espécies; b) situação das trepadeiras na época da avaliação piloto (ACERVO DO AUTOR, 2013)

### 3.2. Procedimento de coleta e tratamento dos dados

A seguir será descrito o procedimento de coleta e tratamento dos dados para determinação do PAF das espécies que constituem o protótipo experimental e foram avaliadas na etapa piloto. A intenção é que este mesmo procedimento seja aplicado na avaliação definitiva da tese de doutorado da autora, acontecendo no período de doze meses, uma vez por mês em cada espécie, a fim de mapear sua condição nas diferentes estações do ano.

A porcentagem de regiões vazadas de cada vegetação foi calculada através do tratamento de imagens obtidas no local, delimitando-se 1,0 m<sup>2</sup> de área da planta. As imagens fotográficas foram tomadas na frontal e ortogonalmente ao protótipo experimental, pelo lado de incidência do sol do período da tarde (Oeste), com câmera digital, modelo DSC-WX7, do fabricante Sony. Para facilitar o tratamento das imagens, com melhor identificação dos cheios e vazios por contraste, foi posicionado atrás da vegetação um painel de madeira pintado na cor branca (Figura 4-a). A localização do painel foi definida como o mais próximo possível da vegetação, sem, no entanto, interferir na disposição dos galhos ou “amassar” suas folhas. Outro cuidado foi na escolha de um dia de céu encoberto para obtenção das imagens, a melhor situação para evitar que sombras da folhagem fossem projetadas no painel e dificultassem a identificação dos vazios.

A partir das imagens fotográficas originais do local, foi utilizado o software Adobe Photoshop© para tratamento e compilação dos dados. Inicialmente a imagem foi recortada nas dimensões do painel e após foi delimitada a região de 1,0 m<sup>2</sup> que seria efetivamente analisada em cada espécie, sendo também demarcada a divisão em nove sub-regiões, para fins de uma estimativa mais detalhada. A Figura 4, a seguir, apresenta a delimitação adotada em cada espécie, tomada na região onde a vegetação apresenta uma condição intermediária de desenvolvimento, aproximadamente a partir de 0,20 metros da borda superior do painel e 0,30 metros do chão.

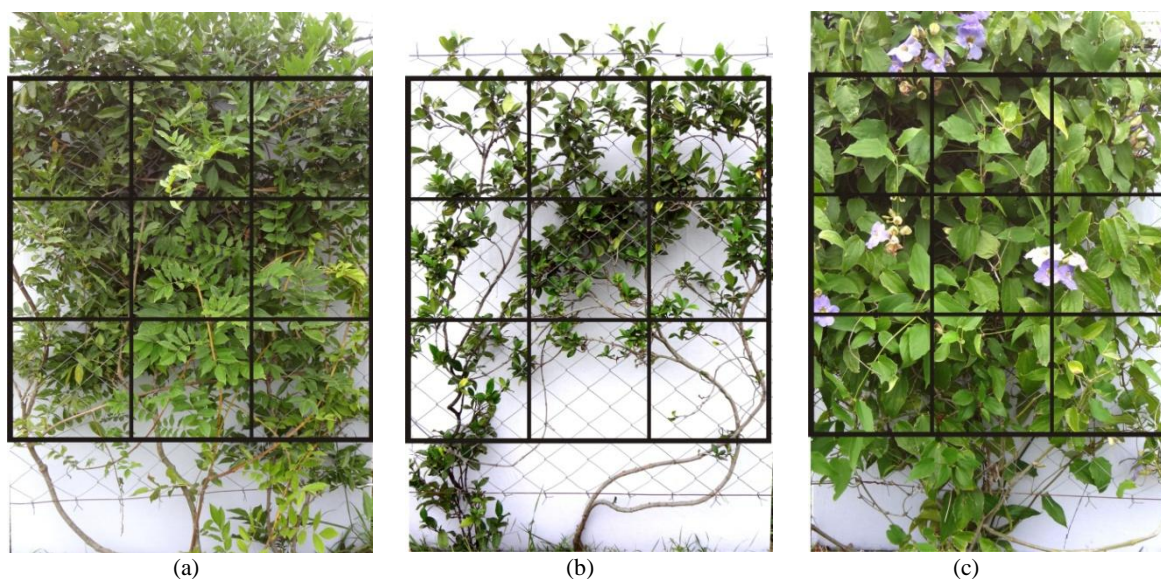


Figura 4 – Regiões e sub-regiões delimitadas para cálculo do PAF em cada espécie considerada na avaliação piloto. a) *Wisteria sp.*; b) *Trachelospermum jasminoides*; c) *Thunbergia grandiflora* (ACERVO DO AUTOR, 2013)

A partir daí, cada imagem foi recortada nos limites da região de 1,0 m<sup>2</sup> a ser analisada e iniciou-se o processo de separação entre o que efetivamente é componente da vegetação e o que está vazado ou faz parte da estrutura metálica entre as folhas. Foi desta forma, subtraído da imagem qualquer elemento ou região visível que não fazia parte da planta, como pode ser observado na Figura 5, com auxílio das ferramentas do software Adobe Photoshop®: “varinha mágica” e “borracha”. O fundo de cor vermelho foi adotado para facilitar a visualização das regiões vazadas.

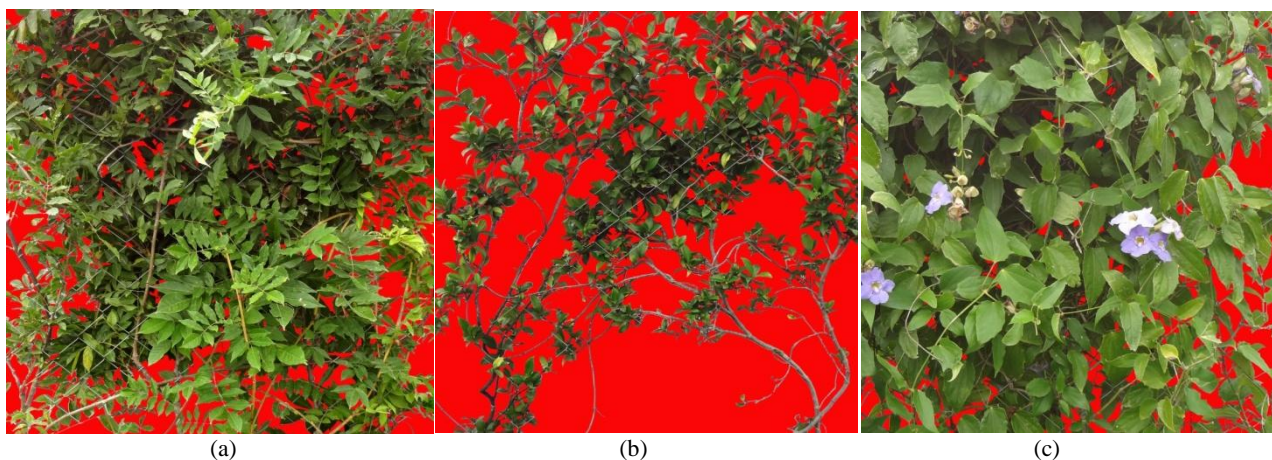


Figura 5 – Tratamento das imagens com subtração do fundo, evidenciando somente o que faz parte da vegetação. a) *Wisteria sp.*; b) *Trachelospermum jasminoides*; c) *Thunbergia grandiflora* (ACERVO DO AUTOR, 2013)

De posse das imagens tratadas, com a separação das regiões que compunham o objeto e o fundo, foi utilizada a ferramenta de contagem de pixels, de forma a calcular a área preenchida pela vegetação e a área vazada. Para a contagem dos pixels, inicialmente é necessário dimensionar a imagem, sendo que foi definida a ocorrência de 20 px/cm, ou seja, para a área delimitada de 1,0 m<sup>2</sup>, 2000 pixels na horizontal e 2000 pixels na vertical, totalizando 4,0 x 10<sup>6</sup> pixels. Após, eram selecionados todos os objetos existentes na imagem, no caso as regiões de folhagem, e realizada a contagem dos pixels, sendo que o resultado já é expresso em fração da área total. Por fim, realizava-se a seleção “inversa”, ou seja, dos vazios entre as folhas e calculava-se novamente a fração da área total.

Este último valor é o que, finalmente, representa o PAF de 1,0 m<sup>2</sup> da vegetação, sendo posteriormente apresentado em porcentagem. O mesmo procedimento foi realizado para cada uma das nove sub-regiões, de forma que se obtivesse o PAF em áreas mais restritas e com grau de fechamento da folhagem variado. Os valores de cada sub-região foram arredondados para uma casa decimal, sendo este o motivo de existir pequenas diferenças entre o resultado total e a média das nove porções.

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados do cálculo do PAF da avaliação piloto, seguindo o procedimento metodológico recém descrito, de cada uma das três espécies trepadeiras analisadas.

No caso da *Wisteria sp.* (Glicínia), para 1,0 m<sup>2</sup> de vegetação, o percentual obtido e que corresponde aos vazios foi de **13,9%**. Nas sub-regiões, o PAF variou de 2% na porção com mais folhas, até 26,1% na área mais vazada, conforme resultados indicados na Figura 6-a.

Já na espécie *Trachelospermum jasminoides* (Jasmim-leite), o PAF total calculado para 1,0 m<sup>2</sup> foi de **55,8%**. Nas sub-regiões, variou de 33,6% onde havia mais folhagem, até 85,2% na área praticamente sem folhas. A Figura 6-b apresenta todos os resultados.

Por fim, na *Thunbergia grandiflora* (Tumbérgia-azul) o PAF total para 1,0 m<sup>2</sup> de vegetação foi calculado como **7,4%**. Nas sub-regiões, o PAF variou de 0,3% na situação de maior densidade, até 26,2% na porção com mais vazados, conforme podemos observar na Figura 7.

As três espécies estudadas possuem características morfológicas diferentes entre si. Enquanto a *Thunbergia grandiflora* é muito vigorosa, com folhas grandes que se desenvolvem em várias camadas de folhagem sobrepostas entre si, a *Trachelospermum jasminoides* possui crescimento mais lento, folhas de tamanho pequeno e praticamente uma camada em toda a amostra. Esta diversidade foi confirmada na análise do PAF total das plantas, que foi de uma área visível muito pequena (7,4%) na Tumbérgia-azul até mais de 50% no Jasmim-leite. Já a Glicínia (*Wisteria sp.*) se apresenta como uma situação intermediária, com crescimento rápido, mas não tão vigoroso.

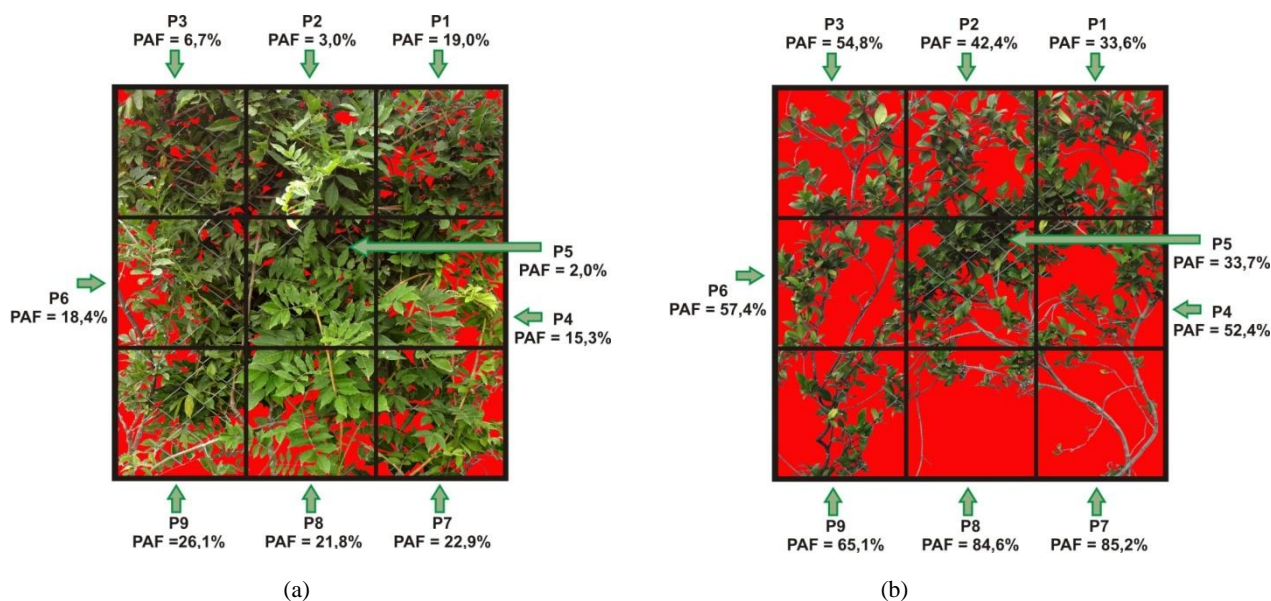


Figura 6 – PAF calculado em cada uma das nove sub-regiões. a) *Wisteria sp*; b) *Trachelospermum jasminoide*. (ACERVO DO AUTOR, 2013)

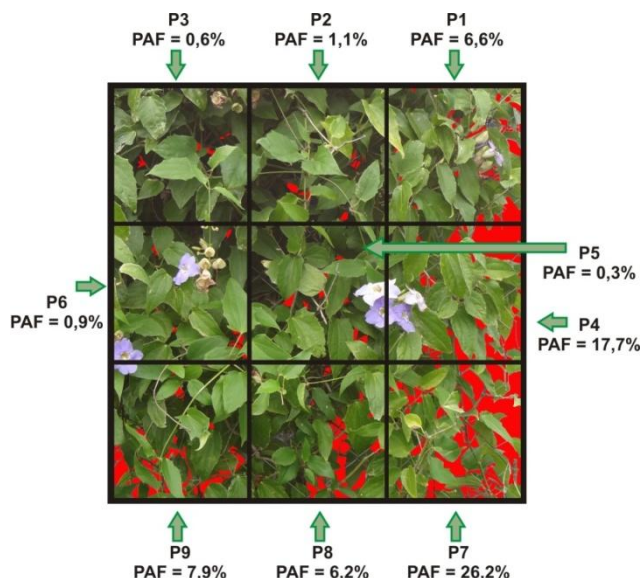


Figura 7 – PAF calculado em cada uma das nove sub-regiões na *Thunbergia grandiflora* (ACERVO DO AUTOR, 2013)

O resultado da amostra total, desta forma, indica a porcentagem de vazados que deixam passar luz e radiação solar através da vegetação, de forma direta. O valor obtido, por conclusão, corresponderia à média para cada metro quadrado da *cortina verde* que compõem uma fachada, considerando uma situação aproximadamente homogênea de distribuição de uma mesma espécie (dentre as avaliadas), nesta condição de crescimento e na época do ano da avaliação piloto (início do outono).

Este PAF total pode ser generalizado para outras espécies que possuam características morfológicas semelhantes, como por exemplo, a *Pyrostegia venusta* se comparada à *Wisteria sp*; o *Jasminum azoricum* se comparado à *Trachelospermum jasminoide*, ou a *Passiflora alata* se comparada à *Thunbergia grandiflora*, sendo estas só algumas possíveis correspondências, a partir de uma análise visual.

Já o estudo do PAF em cada sub-região revela a situação de heterogeneidade das vegetações. Dependendo de sua estrutura, condição de crescimento e época do ano, poderá haver maior ou menor diferenciação entre os vazados em locais distintos. No caso das espécies analisadas, a que apresentou valores com maior dispersão foi a Jasmim-leite. Este tipo de análise é útil para a generalização dos dados em condições diferentes de crescimento de uma mesma espécie, quando aplicadas na prática em uma *cortina verde* de edificação. Por exemplo, em uma condição real de execução, onde a intenção seria cobrir a altura de um pé-direito, as plantas levariam algum tempo (ou até anos) para atingir fechamento máximo. Neste caso,



haveria a possibilidade de considerar uma porcentagem maior de vazados para os primeiros meses ou anos, que iria se reduzindo até atingir um valor mínimo médio. A condição de eficiência energética poderia ser afetada de forma significativa na situação inicial, mas já haveria a previsão dos ganhos futuros. Esse mesmo raciocínio vale quando a intenção for atingir a altura de dois pés-direitos, sendo possível distinguir o desempenho do primeiro, onde a vegetação ficará densa mais rápida, de um segundo, que levará mais tempo para ser recoberto.

De forma semelhante, vale ressaltar que esta avaliação piloto representa a condição de início do outono, ainda com as temperaturas amenas. No decorrer do ano as espécies irão apresentar diferentes estágios: na primavera e verão seu crescimento tenderá a ser mais rápido, seu grau de fechamento maior; no outono e inverno, ao contrário, prevalecerá uma estagnação e, em algumas espécies, a perda total ou parcial da folhagem, como é o caso da Glicínia, que irá perder todas as folhas, permanecendo somente com a floração.

Por isso da necessidade, como já dito, de um monitoramento de pelo menos o período de um ano, transcorrendo todas as estações. Os PAFs de cada época serão diferentes em uma mesma espécie e sua adequação quanto à eficiência energética para a edificação também. Para o caso do clima subtropical, por vezes será interessante que no período de inverno a área de PAF seja maior, permitindo acesso da radiação solar para aquecimento dos ambientes. Neste caso, a combinação de diferentes espécies em uma mesma *cortina verde*, sendo uma ou algumas com folhagem caducifólia, será uma importante estratégia para melhorar ainda mais seu desempenho. Este fato não está previsto no método prescritivo do regulamento, que considera um valor único médio, independente do mês ou estação do ano. A recomendação desta pesquisa é que, para a situação de utilização das *cortinas verdes* como elemento de proteção solar em edificações, o Regulamento apresentasse diferentes equações (ou fatores de correção) para caracterizar a resposta energética em cada estação do ano ou, pelo menos, para o extremo de verão e inverno.

## 5. CONCLUSÕES

O objetivo principal deste artigo foi a apresentação e discussão de uma metodologia viável para quantificar a capacidade de sombreamento das *cortinas verdes*, dispositivo de proteção solar que utiliza vegetação trepadeira, tendo como base o parâmetro PAF: Percentual de Área de Abertura na Fachada, em atendimento ao Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética (RTQ), do INMETRO. Os resultados de uma avaliação piloto foram discutidos, enfatizando a aplicabilidade da metodologia de análise, bem como o bom desempenho das espécies como elemento de proteção solar.

A avaliação piloto foi realizada em três diferentes espécies de vegetação trepadeira, sendo que os dados de PAF foram calculados através do tratamento de imagens obtidas no local, em 1,0 m<sup>2</sup> de área de cada vegetação e também separadamente em nove sub-regiões das plantas. Os resultados demonstraram a viabilidade da metodologia apresentada, que se mostrou eficiente, mesmo levando em conta a quantidade de variáveis envolvidas e de difícil previsão quando tratamos de elementos vivos e não estáticos. O intuito principal é gerar parâmetros médios, plausíveis de serem aplicados para outras situações ou espécies, bem como utilizados no método do Regulamento, segundo as próprias simplificações admitidas.

Também evidenciou as diferenças significativas de desempenho, quando tratamos de espécies vegetais distintas, cada uma com suas particularidades estruturais e formais. Da mesma forma, apontou a necessidade de uma avaliação completa, mapeando as modificações que a vegetação apresenta ao longo das diferentes estações do ano. É esta a proposição da tese de doutorado da autora, avaliar as vegetações em cada mês, durante um ano, e apresentar os valores percentuais de PAF total e também por sub-região. Entende-se que, outro importante passo será a aplicação da metodologia proposta e dos valores medidos em uma avaliação do Regulamento, de forma a identificar fragilidades e demonstrar a relevância e possível contribuição deste estudo para o aprimoramento do processo de avaliação de eficiência energética de edificações.

Apesar de não existir previsão ou apontamento específico no método prescritivo do Regulamento para esta situação dinâmica (somente no método de simulação), entende-se que, com o uso crescente das *cortinas verdes* como proteção solar em arquitetura, alguma consideração sobre este parâmetro possa ser revista ou acrescentada ao método. Principalmente no que se refere às variações sazonais que podem influenciar na eficiência energética, sobretudo em edificações localizadas em climas compostos, onde as proteções solares devem ser planejadas considerando a necessidade de maior bloqueio ou acesso do sol.

A pesquisa completa que está sendo desenvolvida na tese de doutorado da autora também contará com a elaboração de uma série de diretrizes básicas que possam orientar projetistas para a aplicação das *cortinas verdes* em arquitetura, promovendo seu uso e favorecendo o sucesso de seu desempenho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCHDAILY. Disponível em <<http://www.archdaily.com/217481/school-of-the-arts-woha/sota-3-2011-pbh-020/>>, acesso em 20 fev. 2013.
- BROWNE, E. *El Edificio “Consortio-Santiago” 14 Años Después*. Santiago, 2007. Disponível em: <<http://www.ebrowne.cl>>, acesso em: 10 mar. 2011.
- CONTEMPORIST. Disponível em <<http://www.contemporist.com/2013/03/29/vent-vert-by-edward-suzuki-associates/>>, acesso em 12 abr. 2013.
- ENRIQUE BROWNE Y ASOCIADOS. Disponível em <<http://www.ebrowne.cl>>, acesso em 20 fev. 2013.
- INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria nº 372**. Requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos – RTQ-C. Rio de Janeiro: INMETRO, 2010.
- INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Manual para aplicação dos regulamentos: RTQ-C e RAC-C**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2010a.
- INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria nº 18**. Requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais – RTQ-R. Rio de Janeiro: INMETRO, 2012.
- IP, K., LAM, M., MILLER, A. Shading performance of a vertical deciduous climbing plant canopy. **Building and Environment**, n. 45, p. 81-88, 2010.
- MARIO CUCINELLA ARCHITECTS. Disponível em <<http://www.mcarchitects.it/project/centro-direzionale-forum>>, acesso em 20 fev. 2013.
- MORELLI, D. D. O. **Paredes verdes: vegetação como qualidade ambiental no espaço construído**. 2009. Dissertação (mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.
- PÉREZ, G. **Façanes vegetades: estudi del seu potencial com a sistema passiu d'estalvi d'energia, en clima mediterrani continental**. Tese (doutorado). Programa de Doctorado Àmbits de Recerca de la Construcció i l'Energia a l'Arquitectura. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2010.
- STEC, W. J., PASSEN, A. H. C., MAZIARZ, A. Modelling the Double skin façade with plants. **Energy and Buildings**, n. 37, p. 419-427, 2005.
- SUNAKORN, Pasinee; YIMPRAYOON, Chanikarn. Thermal performance of biofacade with natural ventilation in the tropical climate. **Procedia Engineering**, n. 21, p. 34-41, 2011.
- VAN BOHEMEN, H.D.; FRAAIJ, A.L.A.; OTTELE, M. Ecological engineering, green roofs and the greening of vertical walls of buildings in urban areas. **Ecocity World Summit**, San Francisco, 2008.