

13ª Conferência Internacional da LARES

Centro Brasileiro Britânico, São Paulo - Brasil
11, 12 e 13 de Setembro de 2013



Método para avaliação de Coberturas Verdes

F. Vittorino¹, G. Uchôa²

¹ IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, CETAC- Centro Tecnológico do Ambiente Construído, São Paulo, fulviov@ipt.br)

² IPT - Instituto de Pesquisas, gianne@ime.usp.br)

RESUMO

Este artigo tem como objetivo apresentar uma sistemática para avaliação de coberturas verdes (CV), utilizando o método de análise financeira TIR - taxa interna de retorno (IRR - internal rate of return), referenciado pela astm e1185-07 e e1057-06. A proposição, porém, apresenta elementos pouco abordados nas pesquisas nacionais, considerando além dos custos de projetos e execução, também: os custos de manutenção do sistema; a economia de energia proporcionada pela melhoria da eficiência energética do edifício com cobertura verde, obtida através de simulação energética de edificações comerciais; além do valor agregado ao empreendimento com o item de sustentabilidade. São igualmente elencados os fatores que mais condicionam os resultados da aplicação desse sistema no edifício, adotando como base os requisitos estabelecidos pela iso 6241. Para examinar as reais implicações dos custos iniciais, de manutenção e reposição da cv, propõe-se uma análise de viabilidade comparativa com outro sistema que gere benefícios similares à cv, como a cobertura com isolamento térmico. O crescente uso dessa tecnologia passiva, vem sendo estimulado pela difusão das certificações ambientais, com isso, devem-se ampliar os estudos mais aprofundados, tanto sobre a eficiência do sistema construtivo, quanto a respeito da viabilidade financeira, para que a sua aplicação seja de fato sustentável. Não há dúvida de que o sistema de cobertura verde pode ajudar a conter e reverter o declínio ambiental das cidades, fato comprovado pelos estudos científicos já desenvolvidos, sobretudo nos continentes europeu e norte-americano. Pesquisas pontuais em regiões de clima tropical constatam que os custos do ciclo de vida da cv extensiva com ou sem consideração dos custos de energia, são mais baixos do que a laje exposta, apesar de seu custo inicial ser maior. No Brasil, porém, os estudos ainda apresentam uma abordagem superficial quanto à análise de viabilidade de custo.

Palavras-chave: telhado verde, desempenho térmico, método de avaliação, análise de custos.

13ª Conferência Internacional da LARES

Centro Brasileiro Britânico, São Paulo - Brasil
11, 12 e 13 de Setembro de 2013



Evaluation Method of Green Roofs

ABSTRACT

This article aims to present a systematic evaluation of green roofs (GR) using the method of the irr (internal rate of return) financial analysis, referenced by astm e1185-07 and e1057-06. The proposition however, shows elements that are not very often approached in national surveys. It also considers the costs of projects and their executions and the cost of system maintenance, energy savings provided by energy efficiency improvement of the building with green roof, obtained through the energy simulation of commercial buildings as well as the value aggregated to the enterprise with this sustainability item. The factors that most influence the results of this application of this system in the building are also listed, using the requirements established by iso 6241 as a base. To examine the real implications of initial costs, maintenance and replacement of gr, a comparative feasibility analysis of another system that provides benefits similar to the gr such as the roof with thermal insulation is proposed. The growing use of this passive technology has been fueled by the spread of environmental certifications and therefore, further studies must be carried out, both on the efficiency of the building system, as well as on the financial viability, so that the application could in fact be sustainable. There is no doubt that the green roof system can help to contain and reverse the environmental decline of cities, a fact proven by scientific studies already undertaken, especially in the european and north american continents. Also, specific researches in tropical regions showed that the costs of the life cycle of the extensive gr, considering energy costs or not, are lower than the exposed concrete slab, although the initial cost is higher. In brazil, however, studies still show a superficial approach as to the feasibility analysis of cost.

Key-words: green roof, thermal performance, method of evaluation, cost analysis.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças nos padrões de aquecimento e precipitação são referenciadas pelo IPCC- *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), que aponta um aumento nas temperaturas globais de superfície em torno de 1,1 e 6,4°C entre 1990 e 2100. Tal fato é facilmente constatado a cada ano no cenário mundial, principalmente nos grandes centros urbanos, em que enchentes e elevações na temperatura do ar na ordem de 4 à 11°C acima da temperatura dos subúrbios, o efeito denominado “Ilha de calor” (Mestayer 1994; Akbari, 2001), são uma constante, condição ainda mais agravada pelo elevado nível de adensamento e impermeabilização do solo urbano.

Porém, a ciência e a tecnologia têm ajudado a redefinir os padrões de construção, buscando o menor impacto ambiental à cidade. A sociedade, então, vem adotando como solução para a adaptação às mudanças climáticas e minimização da vulnerabilidade do seu habitat, além das políticas públicas de sustentabilidade, também a disseminação do desenvolvimento consciente estabelecido por normas e certificações ambientais aplicáveis ao edifício e ao seu entorno.

Uma grande ênfase é dada à questão energética, sendo um dos principais requisitos das certificações ambientais adotadas no continente Europeu, Asiático e Americano. No Brasil, os selos ambientais são igualmente cada vez mais frequentes, e a questão energética, embora pareça pouco emergencial, porque o país tem uma boa matriz energética (BEM, 2010), com uma potência instalada de 96.201MW/ano(ONS,211), no entanto o custo da energia é bastante elevado chegando a ser 2,5 vezes maior que na China (\$ 179.39 MW/h – Firjan2011 – conversão PPP1, 1,834 R\$/US\$ OCDE 2011) (IPCC, 2010).

Uma das estratégias descritas nas certificações ambientais para minimizar as trocas térmicas do exterior para o interior do edifício, ocorridas através da cobertura, é o telhado vegetado, também chamado cobertura verde. Os benefícios térmicos da cobertura verde e o potencial para melhorar a eficiência energética do edifício, já foram amplamente descritos pela ciência.

Tabela 1 – Benefícios térmicos encontrados nas pesquisas científicas por continente.

LOCAL	BENEFÍCIO QUANTITATIVO
Europa	27°C e -21°C – Diferença entre as temperaturas do ar interno máximas (verão) e mínimas (inverno) internas , respectivamente, comparando cobertura convencional e CV, na Alemanha.
Ásia	4,2°C - Redução da temperatura do ar máxima interna medida em relação a uma laje plana de um edifício comercial [wong2003]; Economia em valor monetário de \$4,773 ano na comparação entre laje exposta e CV pelo método LCC(ASTM 1158-07).(Wong, 2002) 30°C – Diferença da temperatura superficial máxima externa medida em relação à laje plana exposta no verão no Japão. (Onmura, 2000)
América Norte	30°C – Diferença da temperatura superficial máxima externa medida em relação à laje plana exposta no verão no Japão. (Liu, 2003) 6°C – variação máxima da temperatura interna com CV em Chicago. Redução na demanda de energia 6-7,5 KWh/dia.
América Sul (Brasil)	5,1°C - Diferença de temperatura máxima do ar interior, no período de verão comparando-se CV e laje exposta medida em protótipo. (Moraes, Roriz, 2005); 4,7°C – Diferença da temperatura máxima do ar interno, no período de verão comparando-se CV extensiva e telhado de fibrocimento em protótipo. (Rosseti, 2009)

4°C - Média da diferença da temperatura máxima do ar interno de casa-protótipo térrea de cobertura cerâmica comparada à CV em 7 dias de medições no verão (Parizzoto, Lambert, 2011);

2,2°C – Diferença da temperatura máxima do ar interno comparando-se CV leve com Cobertura em telha de fibrocimento medida em protótipo em out-2004. (Vecchia, 2005)

1,48°C – Diferença da temperatura máxima do ar interno comparando CV semi-intensiva com cobertura em telha de alumínio com isolamento térmico, obtida através de simulação computacional (Energyplus) no período de verão.(Almeida, 2010)

A cobertura verde, comparada a uma cobertura com isolamento térmico, tem melhor desempenho geral, por funcionar através de processos físicos, como o sombreamento e a evapotranspiração(Del Barrio, 1998), além da baixa refletância, com diferença entre 0,3 e 0,45 entre elas o que beneficia tanto o edifício, quanto o ambiente urbano. Também, a CV apresenta como vantagem a possibilidade de associação com outras tecnologias como os painéis fotovoltaicos, os quais, em função do resfriamento da cobertura, têm o seu desempenho melhorado.

Porém, as coberturas verdes não são, ainda, um sistema que o mercado brasileiro esteja disposto a assumir. Apesar do aumento das construções verdes, e com isso o aumento da disponibilidade de materiais com tecnologia adequada à construção desse sistema, ainda muitos questionamentos são feitos quanto aos custos iniciais e de manutenção da CV.

Quadro 1 - Análise Crítica sobre o uso da Cv no Brasil

Questionamentos frequentes que geram barreiras quanto ao uso da CV

- Por quê no Brasil o comum é projetar cobertura convencional se a cobertura verde tem tantos benefícios?
- Os custos iniciais e de manutenção da CV são compatíveis com os de uma cobertura com benefícios similares, como a metálica com isolamento térmico?
- O Brasil possui tecnologia adequada para a implantação e manutenção de CV?
- Os benefícios térmicos amplamente estudados pela ciência para os continentes Europeu e Norte-americano seriam constatados nas mesmas proporções também em regiões de clima tropical úmido?
- Como avaliar se o sistema Cobertura Verde, utilizado no clima tropical, terá um custo atrativo?

Esse estudo, portanto, apresenta uma sistemática para avaliação de coberturas verdes, utilizando o método de análise financeira TIR-Taxa Interna de retorno, referenciado pela ASTM E1158-07. A proposição, porém, apresenta elementos pouco abordados nas pesquisas nacionais, considerando além dos custos de projetos e execução, também os custos de manutenção do sistema, a economia de energia proporcionada pela melhoria da eficiência energética do edifício com cobertura verde, além do valor agregado ao empreendimento com esse item de sustentabilidade.

Também, são elencados os fatores que mais condicionam os resultados da aplicação desse sistema no edifício, adotando-se como base os requisitos estabelecidos pela ISO 6241.

2. METODOLOGIA

A sistemática proposta caracteriza-se pela análise da cobertura verde como um sistema construtivo, implantado na totalidade dos seus componentes, projetados de forma adequada, com a vegetação apropriada, garantida assim a eficiência do sistema.

Para examinar as reais implicações dos custos iniciais, de manutenção e reposição da CV a análise de viabilidade deverá ser comparativa com outro sistema que gere benefícios similares aos da CV. Portanto, o benefício quantificável da presente proposição é a possível redução do consumo de energia do edifício, gerada pela melhoria da eficiência energética, e o sistema comparado será cobertura com telha metálica com isolamento térmico CTMI.

O sistema de CV que será analisado, assim como aquele com o qual a CV será comparada, deve obedecer aos requisitos da ISO 6241, pertinentes ao caso, quais sejam: estabilidade; segurança contra incêndio; segurança em uso; vedação (estanqueidade); térmico; durabilidade; e econômico.

Quadro 2- Critérios da análise

Critérios iniciais da análise financeira

- A decisão deve ser tomada considerando-se minimamente duas alternativas de coberturas, preferencialmente com benefícios similares. Ex. Cobertura verde e cobertura com isolamento térmico;
- Só se podem comparar alternativas homogêneas quanto ao tempo, moeda, etc..
- É necessário ordenar as alternativas por meio de um denominador comum, a fim de torna-las comensuráveis (propõe-se o método TIR);
- Os critérios para a decisão entre alternativas econômicas devem reconhecer o valor do dinheiro no tempo.

2.1 TIR- Taxa Interna de retorno

Segundo a ASTM E1158-07 o método TIR (ou IRR- Internal Rate of Return) é uma das cinco práticas adotadas para o cálculo de análise financeira de investimento. São considerados quatro aspectos que auxiliarão na escolha da prática mais adequada para cada caso de avaliação financeira, quais sejam:

- Aceitação ou rejeição – analisa-se a relação custo-benefício de cada sistema independente de outros sistemas;
- Projeto – fornece dados para a escolha entre dois projetos distintos onde apenas um pode ser escolhido. Ex. Qual sistema é mais rentável, a cobertura verde ou da cobertura metálica com isolamento?;
- Dimensão – possibilita a escolha da dimensão adequada do sistema. Ex. Qual tipologia será a mais adequada, cobertura verde intensiva ou extensiva? É mais rentável vegetar 100% da área da cobertura, ou associá-la a áreas de convivência?
- Classificação – Em caso de recurso limitado, podem-se estabelecer prioridades. Ex. Eleger áreas para vegetar, ou mesmo, fazer sistemas mistos com mais de uma tipologia de CV.

Para alimentar o modelo matemático TIR há que se observar a movimentação financeira envolvida na implantação do sistema Cobertura Verde, ou seja, o fluxo de caixa ao longo de um tempo determinado, considerando-se a vida útil dos sistemas a serem comparados.

2.2 Fatores relevantes do Custo da vida útil do sistema Cobertura verde

2.2.1 – Vida útil

Entende-se como vida útil técnica, o período compreendido entre a construção e a sua demolição. Para tanto, devem ser considerados diferentes tempos de duração de componentes individuais. Já a reposição de componentes no empreendimento pode ser definida na extensão total do tempo de duração do sistema. Desta forma, a durabilidade ganha espaço na questão econômica (Keller, 1994).

Também, a fim de estabelecer um tempo de vida para o sistema, conceitua-se Vida útil de projeto (VUP) período estimado de tempo em que um sistema é projetado para atender aos requisitos de desempenho estabelecido na NBR 15575, desde que cumprido o programa de manutenção previsto na etapa de operação.

Para efeito do presente estudo, estabelece-se um período de 20 anos para a análise comparativa dos sistemas de cobertura CV e CTMI com base na VUP estimada para o subsistema cobertura (Sabbatini, 2007).

A vida útil inicia-se no momento do planejamento do empreendimento, momento em que se elabora o projeto de arquitetura paisagística da CV (projeto principal), que deve ser compatibilizado com os demais sistemas (projetos complementares), prevendo reservatórios de água para reuso e/ou retardo de despejo, sistema de impermeabilização anti-raiz, sistema de drenagem, sistema de irrigação, luminotécnica (para CV intensiva com área de convivência) mapa de cargas de solo saturado e vegetação de médio e grande porte. Devem ser consideradas as cargas concentradas e com solo saturado para CV intensiva. (ASTM E2400-06)

2.2.2 – Custo inicial

Devem ser observadas as exigências quanto à sustentabilidade, como: origem da matéria-prima, evitando material proveniente de extrativismo de ambiente natural; proximidade da obra, minimizando consumo de energia fóssil no transporte; preferência pela utilização de espécies nativas, evitando alteração do bioma local; uso de substrato leve, com alto teor nutricional e boa capacidade de retenção de água e rehidratação, com componentes de baixa inflamabilidade, isento de patógenos vegetais, baixa capacidade de retração e com boa estabilidade da manutenção de suas propriedades [ASTM E2397-11, ASTM E2398-11].

Outro aspecto que merece atenção especial é o sistema de impermeabilização, que deve combinar a resistência ao punçionamento estático das armaduras de poliéster e a resistência ao punçionamento dinâmico com mantas asfálticas modificadas com polímero plastomérico ou elastomérico, juntamente com a resistência a raízes com um herbicida, aditivo de base ácida de gordura fenólica (IBI, 2009). Esse sistema precisa atender minimamente aos aspectos abaixo elencados:

- Elevada resistência mecânica e grande durabilidade.
- Ótima resistência a baixas temperaturas.
- Adição adequada de polímeros e herbicidas adicionados ao asfalto, possibilitando manter por longo período suas características.

No caso de CV intensiva ou extensiva (ASTM E2400-06) com acesso, e áreas de permanência, o sistema de irrigação, principalmente aquele que utiliza o reuso de água, e o que utiliza aspersão, deverá conter no reservatório da água um sub-sistema de filtragem UV para eliminação de microorganismos, como a bactéria *Legionella pneumophila* que tem como principal meio de

infecção a inalação de gotas de água contendo o bacilo, que inclusive já foi identificada em jardins e em sistemas de condicionamento de ar, que em geral associam-se com às Cvs (ETTO, 2009). O UV é o processo físico mais adequado, por ser eficiente para inativar bactérias, vírus, esporos, cistos e algas de diversos tipos, além de não utilizar-se e nem adicionar produtos químicos ao meio.

2.2.3 – Custo de manutenção e reposição

Na etapa de manutenção, também devem ser consideradas as práticas adequadas aos requisitos de sustentabilidade, incorrendo em um baixo impacto ao ambiente, como: uso de defensivos e adubos orgânicos; reutilização dos resíduos provenientes das podas de formação e saneamento através de compostagem no próprio local; uso de maquinário não poluente, como roçadeiras manuais. Devem ser previstas as reposições periódicas da vegetação, evitando a exposição do solo nu, promovendo a absorção de calor e a sua compactação.

Podem ser aplicadas diferentes estratégia para os custos de manutenção (HOMANN, 2001):

- estratégia preventiva (reparos feitos antes da ocorrência de falha ou dano);
- estratégia de inspeção (baseada nos resultados da inspeção, que irão planejar as medidas de reparo, se necessárias, antes que aconteça a falha); e
- estratégia de falhas (medidas de reparo são promovidas somente no momento que a falha ocorre).

Para essa sistematização, a estratégia preventiva é a mais adequada, garantindo a funcionalidade do sistema e assim a manutenção dos benefícios gerados ao edifício(BOOTY,2006), prática consolidada pela NBR 15575, conforme gráfico.

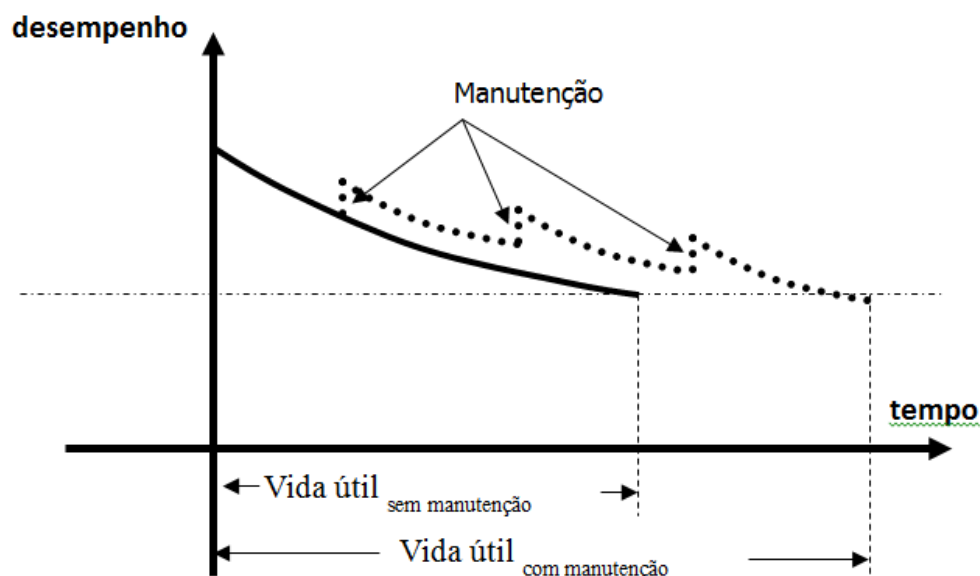


Figura 1- Aumento da vida útil com manutenção preventiva
 Fonte: (NBR 15575, 2010)

2.2.4 – Fluxo de caixa

Tabela 2 - Parâmetros e delineamento da Simulação

DESPESAS
- etapa inicial (1º ano) – custo de projeto principal e complementares;
- etapa de execução (2º ano) – custo efetivo da obra e custo de capital ;
- etapa de utilização (3º ao 20º ano) – custos da manutenção preventiva do sistema, despesas de custeio como custo com água e luz, despesa variável com reposição da vegetação e custo do desmonte.
RECEITAS
- etapa inicial (1º ano) – Valor agregado ao empreendimento certificado ou com itens de sustentabilidade na venda e/ou uso do imóvel;
- etapa de utilização (3ºano ao 20º) -redução da despesa com consumo de energia (resultante de simulações energéticas do edifício e transformação em valor monetário) Valor agregado ao empreendimento certificado ou com itens de sustentabilidade aluguel dos imóvel;

Equação - CVUp (custo de vida útil de projeto) = **(FCcv)** Fluxo de caixa do sistema cobertura verde = **(RE)**Redução no consumo de energia no uso (valor em \$ obtido na simulação energética do edifício utilizando o software Energy plus) - **(Cp)** custo de projeto (\$) - **(Ce)** custo de execução (\$) - **(Cm)**custo de manutenção- **(Ca)**custo consumo água (\$) + **(VE)**valorização do empreendimento em %.

$$FCcv = RE + VE - Cp - Ce - Cm - Ca \quad (01)$$

Taxa Interna de Retorno (TIR)

(02)

$$ZERO = \frac{FCcv \text{ 1º ano}}{(1 + TIR)^0} + \frac{FCcv \text{ 2º ano} \dots}{(1 + TIR)^1} + \frac{FCcv \text{ n}}{(1 + TIR)^n}$$

Considerar Fluxos de caixa (FC) ao longo de um período de 20 anos.

2.3 Dados para alimentar o modelo.

Para obter o valor monetário decorrente da possível economia no consumo de energia do edifício com CV, precisa-se mensurar a melhoria do conforto térmico no interior da edificação. O método de avaliação de CV propõe o uso do software de simulação energética Energy plus, validado e referenciado pelas normas técnicas para requisitos e critérios de desempenho térmico, bem como pelas certificações ambientais nacionais e internacionais.

A interface do programa permite a entrada de dados, como: densidade da camada vegetal; altura da planta; condutância dos estômatos; e umidade do substrato. As equações de temperatura da superfície do solo (Tg) e folhagem (Tf) são resolvidas simultaneamente a cada passo, invertendo fórmula de transferência de calor por condução (CTF) para extrair a informação sobre o fluxo de calor para cálculo do balanço de energia (ENERGYPLUS, 2007 apud ALMEIDA, 2008).

O Programa considera que da mesma forma que em uma cobertura tradicional, o balanço de energia em uma cobertura natural é dominado pela radiação solar. Esta radiação solar é balanceada pelo fluxo do calor sensível (convecção), e pelo fluxo do calor latente (evaporação) do solo e da superfície das plantas combinada com a condução de calor dentro do substrato.

2.3.1 – Delineamento experimental proposto para o método

O uso do Energy Plus propicia inúmeras possibilidades de investigação comparando-se diversos modelos. Cabe, ao método proposto, a análise de algumas variáveis selecionadas a partir de dois contextos fundamentais: as características do edifício e as características do sistema CV, como mostra a figura a seguir .

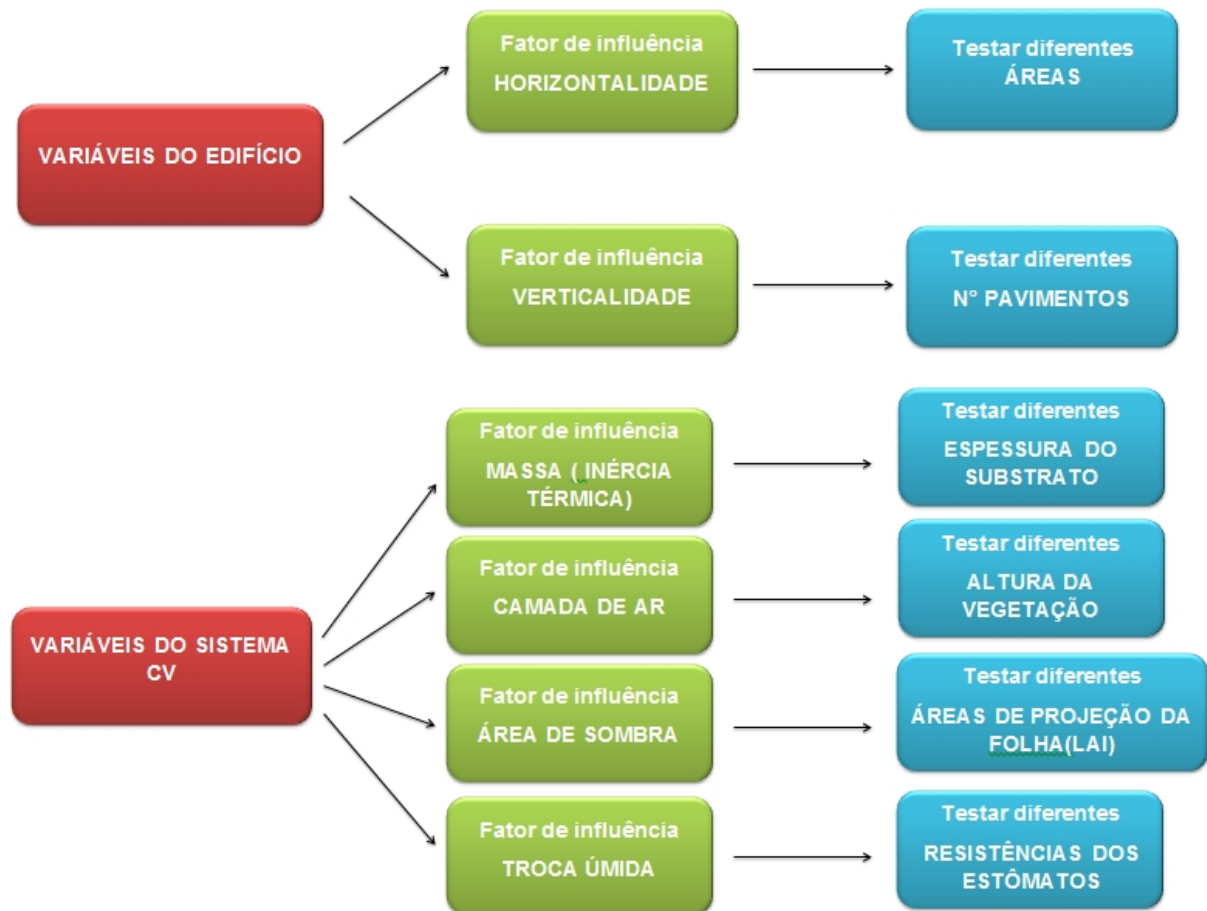


Figura 2 – Delineamento experimental do método

2.3.2 – Delineamento do modelo simulado

Para testar o método proposto, adotou-se um caso hipotético de um edifício habitacional com 1000m², com as seguintes características construtivas: paredes em bloco estrutural com reboco em argamassa 25mm; laje em concreto 15cm; forro em gesso duplo com isolante 40mm; 20% de envidraçamento; e portas em madeira.

A simulação foi anual, porque os resultados relativos ao consumo de energia e água foram lançados no Fluxo de Caixa/ano. Foram simulados os pavimentos térreos, tipo e cobertura, além do pleno, considerando-se um sistema de condicionamento de ar do tipo CAG (Central de resfriadores de água gelada).

O sistema cobertura verde foi do tipo extensiva com técnica construtiva convencional (10cm de substrato contínuo e vegetação rasteira) sobre laje plana em concreto, com sistema de drenagem com ralos tendo sobre os mesmos uma camada de material drenante (argila expandida) e manta geotêxtil, e sistema de irrigação simples com rotores agrícolas.

Para efeito de comparação adotou-se a laje exposta como caso-controle. Já a cobertura com telha metálica termo-acústica, foi o parâmetro de igualdade de condições em termos dos benefícios

térmicos, além de ser o sistema mais usual. Vale ressaltar, ainda, que todos os sistemas estão sobre laje em concreto, elemento este não acrescido aos custos.

O tempo de vida útil de projeto (Vup) considerado para os cálculos de análise econômica simplificada é de 20 anos, sendo ao longo do mesmo adotado um sistema de manutenção da vegetação de 16 horas mensais a partir de 6 meses após a implementação da cobertura, momento em que considerou-se um período de garantia. Também, foram consideradas reposições do substrato (1% do volume a cada 5 anos e 100% com 10 anos da implementação da CV), da vegetação (100% a cada 5 anos), do sistema de drenagem (100% a cada 10 anos), e do sistema de irrigação (reposições de 20% do sistema a cada 5 anos).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 – Benefícios sob o ponto de vista do usuário

Considerando-se os benefícios que a CV proporciona ao edifício, a redução da faixa de variabilidade da temperatura interna é o que mais impacta nos custos ao longo da vida útil do sistema e a decorrente otimização do sistema de resfriamento/aquecimento. Porém, outros benefícios tornam-se mais visíveis quando se realiza uma análise ao longo do tempo, como o aumento da vida útil do sub-sistema impermeabilização, que passa a ser reposto a cada 10 anos, contra uma reposição a cada 5 anos quando exposto diretamente ao tempo.

Os resultados apresentados na tabela a seguir apontam uma pequena diferença de \$ 2,40/m² no custo de instalação entre a cobertura verde e a cobertura metálica, o que se considera um valor irrelevante diante dos possíveis benefícios qualitativos ao edifício, além daqueles conferidos no ambiente urbano, os quais serão discutidos posteriormente.

Tabela 3 – Custo de instalação

Tipo de cobertura	Delineamento da modelagem	Preço total do sistema (material+m.o.) m² (\$)
Cobertura Verde 100mm	Sistema de impermeabilização com duas camadas de manta asfáltica (3mm comum + 4mm anti-raiz); Proteção mecânica e=30mm; Sistema de drenagem com ralos e tubos perfurados+material drenante e manta geotêxtil; Substrato de alto desempenho (100mm)+vegetação (grama em placa); Sistema de irrigação com rotores agrícolas e recalque.	\$145,00
Cobertura com telha metálica tipo sanduíche com EPS e=30mm	Estrutura de aço para cobertura duas águas sem lanternim, espaçamento entre tesouras 5 m, vão 30 m; Telha tipo sanduíche trapezoidal termoacústica; Calhas e rufos de chapa galvanizada; Sistema de impermeabilização simples com proteção mecânica.	\$ 142,62
Laje exposta	Sistema de impermeabilização com manta auto protegida; Sistema de drenagem com ralos.	\$ 19,30

A cobertura verde tem um custo de manutenção inferior ao da cobertura metálica, como apresentado na tabela 4. Essa diferença está no tempo de vida útil de cada sistema e a necessidade de reposição dos subsistemas. A CV necessita de deposições específicas para cada

componente, além da manutenção mensal da vegetação, que deve seguir as recomendações de sustentabilidade. Já a cobertura metálica, ao longo de 20 anos, deve ter 100% do sistema reposto, bem como deve ser realizada a manutenção periódica para limpeza, preservando a função de refletância do fator solar, além da revisão contra eletro-corrosão das peças de fixação, o que impacta no custo final da VUP.

Tabela 4 – Custos com manutenção ao longo da VUP (vida útil de projeto)

Tipo de cobertura	Delineamento da modelagem Vida Útil (Vup) 20 anos	Preço total do custo ao longo de uma Vup de 20 anos (material+m.o.) m²/ano (\$)
Cobertura Verde 100mm com grama em placa	Garantia pós-obra (2% do custo de implementação); Manutenção mensal da vegetação (Vup-20anos); Reposições (substrato e vegetação) (2x) Manutenção preventiva dos sub-sistemas impermeabilização, drenagem e irrigação	\$8,50
Cobertura com telha metálica tipo sanduíche com EPS e=30mm	Garantia pós-obra (2% do custo de implementação) Reposição do sistema (1x)	\$ 10,70
Laje exposta	Reposição do sistema (4x)	\$ 3,89

Comprova-se, independentemente da redução no consumo de energia, que o sistema CV tem custo total VUP menor que a cobertura metálica termo-acústica, em 26%, como descrito na tabela 5. Embora o custo inicial seja 1,6% maior, mas a CV apresenta um melhor desempenho financeiro ao longo dos 20 anos.

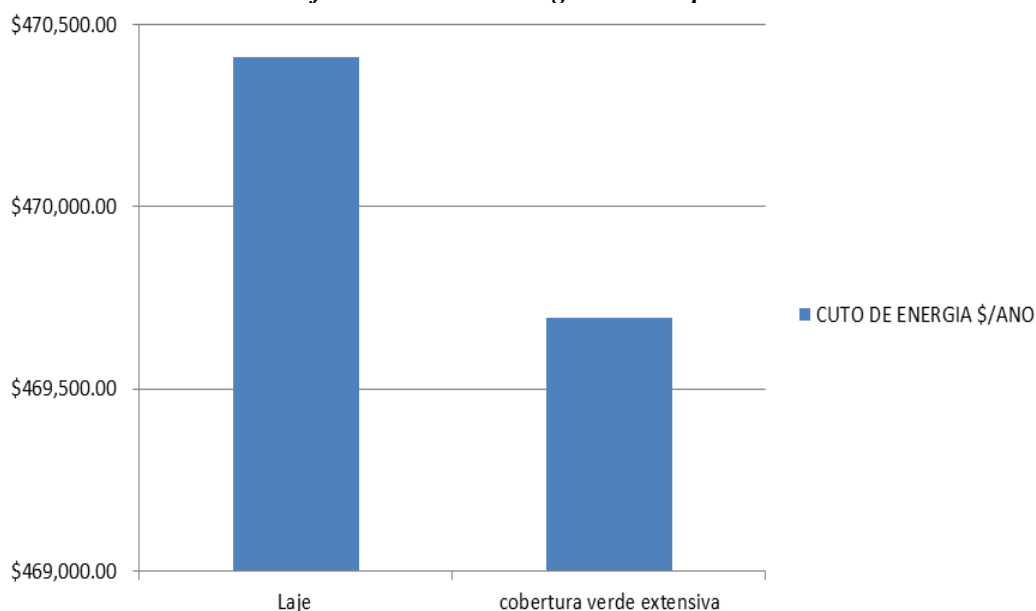
Tabela 5 –Resumo dos resultados dos Custo de instalação e manutenção

Tipo de cobertura	Custo inicial para cobertura de 1000m²	Custo da VUP de 20anos	Diferença%
Cobertura Verde 100mm (A)	\$145.000,00	\$ 169.290,00*	(A em relação a B) Custo inicial - 1,6% maior; Custo VUP- 26% menor.
Cobertura com telha termoacustica (B)	\$ 142.620,00	\$ 213.421,60*	
Laje exposta (considera-se somente o custo de impermeabilização) (C)	\$ 19.300,00	\$ 92.288,00*	(A em relação a C) Custo inicial 86% maior; Custo VUP- 54,1% maior.

*Não está considerado o valor no tempo

Embora as simulações estejam em etapas preliminares, mas este estudo já apresenta um melhor desempenho energético do sistema CV em relação ao caso-controle laje exposta. Apresentando um economia de 2,5 MWh/ano, a CV pode beneficiar o usuário de forma a compensar os custos iniciais diretos. Este resultado corrobora um dos benefícios privados que o sistema CV pode conferir ao edifício, e que mais facilmente são quantificáveis, porém há também os benefícios públicos, esses discutidos a seguir.

Gráfico 1 – Custo de energia/Ano comparado



3.2 – No âmbito urbano

O sistema CV pode fornecer benefícios públicos e devem ser incluído nos instrumentos de gestão do espaço urbano, sobretudo nas grandes metrópoles, como uma potente estratégia para a adequação da arquitetura às mudanças climáticas, mitigando os impactos ao meio ambiente causados pelo processo de adensamento das metrópoles e impermeabilização excessiva do solo urbano.

Oke (1999) demonstrou que o clima da cidade é produto de um fenômeno de transformação de energia a partir da interação do ar atmosférico e o ambiente construído. O autor coloca em evidência a geometria urbana e a inércia térmica dos materiais de construção no processo de mudança climática causado pelos assentamentos urbanos (Assis, 1997 apud Freitas, 2009).

As coberturas vegetadas atuam positivamente sobre as expressões mais contundentes dessas alterações climáticas, que são as elevadas temperaturas e a concentração de poluentes, melhorando o mesoclima urbano. Além desses benefícios, também é tão importante quanto esta, é a possibilidade de associar as coberturas vegetadas ao sistema de gestão das águas pluviais urbanas, através dos pequenos reservatórios, chamados “piscininhas”, que são áreas de biorretenção e controlam a descarga das águas na rede pública.

Porém, mensurar o impacto do uso da CV em macro escala, é um desafio desta área do conhecimento. A complexidade da modelagem no espaço urbano é o maior obstáculo para que se obtenham dados precisos, em decorrência das inúmeras variáveis presentes nesse ambiente. Numa abordagem experimental em que a CV deveriam ser considerados alguns fatores importantes a climatologia urbana, as questões energéticas, as ações de planejamento urbanístico e o desenho urbano.

4- CONCLUSÃO

O trabalho traz como principal visão a inserção do aspecto custo em uma análise técnica de um sistema construtivo. Com enfoque na vida útil, estabelecida na fase de projeto, abordam-se os objetivos e as razões do uso de um método de análise financeira simples, porém com recursos para que todos os custos sejam considerados, inclusive o do benefício energético ao edifício habitacional, tanto para novas construções, quanto para a reabilitação de edifícios existentes.

A cobertura vegetada foi o sistema escolhido para a aplicação do método proposto, por ser uma tecnologia com uso crescente e que apresenta grandes possibilidades para reabilitar as grandes metrópoles, se bem planejada e se integrada à um sistema eficiente de infra-estrutura verde,. A melhoria da qualidade do ar, a redução das enchentes, a redução das ilhas de calor urbanas, a ampliação dos espaços para a propagação de espécies vegetais nativas e a avifauna locais, são alguns dos benefícios potenciais ao ambiente urbano, decorrentes da aplicação das coberturas verdes.

Quanto aos benefícios do sistema ao edifício, destacam-se: a melhoria das condições de conforto térmico, ou mesmo redução das cargas térmicas de resfriamento e aquecimento de ambientes com ar-condicionado, além da possibilidade de extensão da vida útil do sistema de impermeabilização, sujeito as demandas de flexão e alongamento da estrutura quando totalmente exposto ao tempo, devido à maior ação dos fatores climáticos.

Na presente pesquisa, os resultados decorrentes da aplicação do método proposto encontram-se em fase inicial, em que os primeiros casos hipotéticos foram analisados, tanto sob a ótica de custo, quanto sob simulação computacional, tendo como próximo passo a aplicação do modelo de análise econômica. Porém, mesmo preliminares, os resultados já obtidos poderão servir de embasamento para uma tomada de decisão sobre qual tecnologia utilizar, de modo a atender as necessidades básicas de conforto térmico do edifício, considerando os requisitos de sustentabilidade e de desempenho.

Atualmente existem no Brasil tecnologias eficazes e simples de telhados verdes, que permitem a amortização do investimento inicial pela economia de energia, e ainda com algumas vantagens como resistência ao fogo e maior capacidade de isolamento acústico.

Não há dúvida de que os sistemas de coberturas verdes podem ajudar a conter e reverter o declínio ambiental das cidades, o estímulo e desafio aos pesquisadores, porém, é obter dados científicos que consubstanciem o aperfeiçoamento das técnicas existentes de forma à construir COBERTURAS VERDES que sejam, sob todos os aspectos, benéficas em termos ecológicos e sociais: com baixo custo ambiental e acessíveis ao maior número de pessoas.

Conclui-se, portanto, que a temperatura externa predominante, a temperatura interna desejada, as fontes internas de calor, a espessura necessária do sistema para conseguir a conservação da energia desejada, são o ponto de partida para a escolha correta do sistema, bem como saber se ele é adequado ou não ao clima onde será utilizado.

REFERÊNCIAS

AKUTSU, M. Método para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil. 1998. 156f. tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, FAU-USP, São Paulo, 1998.

AKUTSU, M.; VITTORINO, F. A importância do projeto Arquitetônico no desempenho térmico das edificações. São Paulo: IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, 1995 (serie “Comunicação Técnica”).

BEN – *Balço energético Nacional* – 2010. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/default2010.aspx>. Acesso em 12 nov 2011.

BARRIO, E.P.D. 1998. *Analysis of green roofs cooling potential in buildings*. Energy and Buildings 27: 179-193.

BARROSO-KRAUSE, C. *La Climatisation Naturelle: Modélisation des Objets Architecturaux Elémentaires, Aide à la Conception*. Cenerg, Ecole des Mines de Paris. Paris. França. 1995.

BARROSO-KRAUSE, C. *Coberturas, conforto higrotérmico, edificações: Ponderações e propostas para clima tropical úmido em situação de verão*. Proarq-UFRJ. Rio de Janeiro. 1990.

BUCHELI, T.D., S.R. Müller, A. Voegelin, and R.P. Schwarzenbach. *Bituminous roof sealing membranes as major sources of the herbicide (R,S) Mecoprop in roof runoff waters: potential contamination of groundwater and surface waters*. Environ. Sci. Technol. 1998.

BUCHELI, T.D., S.R. Müller, S. Heberle, and R.P. Schwarzenbach. *Occurrence and behavior of pesticides in rainwater, roof runoff, and artificial stormwater infiltration*. Environ. Science Technol. 32(22): 3457-3464.1998.

CAPECE, J. C. *Comparison of evapotranspiration estimation methods*. University of Florida. Department of Agricultural and Biological Engineering. Institute of Food and Agricultural Sciences. 2002. Disponível em:<http://www.maerc.com/weather/ET_methods_report_020626.doc>. Acesso em: 22 nov. 2011.

COLINGE, S.K. *Ecological consequences of habitat fragmentation: implications for landscape architecture and planning*. Landscape and Urban Planning. 36: 59-77. 1996.

CORREA, C. B.; GONZÁLEZ, F. J. N. *O uso de coberturas ecológicas na restauração de coberturas planas*. In: NÚCLEO DE PESQUISA EM TECNOLOGIA DE ARQUITETURA E URBANISMO-NUTAU. Anais. São Paulo: Pró-reitoria de Pesquisa, Universidade de São Paulo, 2002.

COST OF GREEN ROOFS. Publicação eletrônica. Disponível em:<http://www.lidstormwaternet/greenroofs/greenroofs_cost.htm>. Acesso em: 18 set. 2011.

CURRIERO, F.CI, K.S. Heiner, J.M. Samet, S.L. Zeger, L. Strug and J.A. Patz. *Temperature and mortality in 11 cities of the eastern U.S*. American Journal of Epidemiology 155: 80-87. 2002.

DAVIS, Kim. *Green Roof Inventory: Preface Report*. Greater Vancouver Regional District, December 12, 2002.

DDV (deutscher Dachgärtner Verband). *Ökologische Leitlinien für Dachbegrünung*. www.dachgaertnerverband.de - 21 Junho 2010.

DÜRR, Albrecht. *Dachbegrünung: Ein Ökologischer Ausgleich; Umweltwirkungen, Recht, Förderung*. Bauverlag, Wiesbaden e Berlin. 1995.

EMILSSON, T. and K. Rolf. *Comparison of establishment methods for extensive green roofs in southern Sweden*. Urban Forestry & Urban Greening 3: 103-111. 2005.

ENERGYPLUS, *Getting Started With Energyplus*. University of Illinois. 2007.

ETTO, Helder Yudji. *Detecção de bactérias do gênero Legionella em amostras de água provenientes de sistemas de ar condicionado*. 2009-06-16 São Paulo, 2009. (Catálogo USP)

FABRY, Wolfgang. *These 4-3: Gründächer senken die Kosten bei Gespaltener Abwassersatzung*. EFB-FBB (Europäische Föderation der Bauwerksbegrünungsverbände – Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V.) Gründachsymposium, Ditzingen, 23 março 2003. pp. 31-32. 2003.

FBB (Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V.) 2003. *FBB - Schlaglicht*. -www.fbb.de - Dezembro 2010.

FBB (Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V.) 2004. *Auswertung der Umfrage Dachbegrünung an Stadtverwaltungen von Städten über 10.000 Einwohner*. - www.fbb.de - Maio 2010.

IPCC - (*Intergovernmental Panel on Climate Change ou Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas*)

MINKE, Gernot: *Manual de Construcción en Tierra*. Nordan Comunidad, 1994.

MORGADO, J. M. *Coberturas verdes*. Revista Impermeabilizar. São Paulo, n.78, p. 62-76, fev. 1995.

MORITZ, Karl, *Manual de cubiertas planas en construcción*. Editora Blume, Madrid/Barcelona, 1969.

NIACHOU, A. *et al. Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance*. Energy and Buildings, v. 33, n. 7, p. 719-729, 2001.

NOBRE, Carlos – INPE – 2011 – palestra proferida na UFRJ.

ONMURA, S. *et al. Study on evaporative cooling effect of lawn gardens*. Energy and Buildings. v.33, n. 7, p.653-666, 2001.

ONS, Operação do SIN: Dados Relevantes 2010. Disponível em http://www.ons.org.br/download/biblioteca_virtual/publicacoes/dados_relevantes_2010/0701_cacidade_instalada.html. Acesso em 12 nov 2011.

OSMUNDSON, Theodore. 1999. *Roof Gardens. History, Design and Construction*. W.W. Norton & Company, Inc., New York.

POUEY, M. T. F. *et al. Coberturas verdes: análise do desempenho térmico*. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDOENTAC.

ROMÉRO, M. A.; REIS, L. B. *Eficiência Energética em edifícios*. Barueri, SP: Manole, 2012.

SCHMIDT, Marco. 2000. *Dachbegrünung als Ausgleichs- und Ersatzmaßmezur Flächenversiegelung*. In Proceedings of Infoforum Regenmanagement: Regenwasserbewirtschaftungssysteme in Berlin und Brandenburg. GEOAgentur, Berlin. pp. 46-56..

VITTORINO, F.; Sato, N. M. N.; Akutsu, M. *Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas*. Técnica, São Paulo, n.75, p. 66-70, jun. 2003.

WONG, N. H. *et al. Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment*. Building and Environment, v. 38, n. 2, p. 261-270, 2003b.

AGRADECIMENTOS

Ao instituto de Pesquisas Tecnológicas-IPT.