

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Marciano Freitas de Moraes

**TELHADOS VERDES: UMA ANÁLISE COMPARATIVA DE
CUSTOS E VANTAGENS EM RELAÇÃO
AOS TELHADOS CONVENCIONAIS**

Porto Alegre
dezembro 2013

MARCIANO FREITAS DE MORAES

**TELHADOS VERDES: UMA ANÁLISE COMPARATIVA DE
CUSTOS E VANTAGENS EM RELAÇÃO
AOS TELHADOS CONVENCIONAIS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Civil

Orientadora: Beatriz Maria Fedrizzi

Porto Alegre
dezembro 2013

MARCIANO FREITAS DE MORAES

**TELHADOS VERDES: UMA ANÁLISE COMPARATIVA DE
CUSTOS E VANTAGENS EM RELAÇÃO
AOS TELHADOS CONVENCIONAIS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Professora Orientadora e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 02 de dezembro de 2013

Profa. Beatriz Maria Fedrizzi
Dra. Pela Swedish University Of Agricultural Sciences
Orientadora

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Profa. Beatriz Maria Fedrizzi (UFRGS)
Dra. Pela Swedish University Of Agricultural Sciences

Prof. Luis Carlos Bonin (UFRGS)
MSc. Pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Abrahão Bernardo Rohden (UFRGS)
MSc. Pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, Joel Arinto Freitas de Moraes e Clarice Metz de Moraes, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Profa. Beatriz Maria Fedrizzi, orientadora deste trabalho, pela atenção, contribuição e disponibilidade para enriquecimento deste trabalho.

Agradeço ao Prof. Luis Carlos Bonin pelas sugestões e esclarecimentos que ajudaram a desenvolver melhores resultados na pesquisa.

Agradeço a Profa. Carin Maria Schmitt, coordenadora da disciplina por suas correções e auxílio em todas as etapas do trabalho.

Agradeço a minha família, meus pais Joel e Clarice, a meus irmãos Raul e Marcelo que desde o início me apoiaram e me encorajaram a buscar meus objetivos.

Agradeço a minha namorada, Cristina Sundyn Martins, e sua família pelo apoio principalmente nesta etapa final de curso.

Por fim agradeço a todos os meus amigos e amigas, a todos aqueles que conheci durante esta minha jornada da graduação, até os que já acompanhavam minha caminhada desde antes da faculdade, a todos vocês, muito obrigado.

É melhor lançar-se à luta, alcançar o triunfo,
mesmo exposto ao insucesso,
do que formar fila com os fracos, pobres de espírito,
que nem sofrem muito, nem gozam muito,
porque vivem nessa penumbra cinzenta
que não conhece derrota, nem vitória.

Franklin D. Roosevelt

RESUMO

Este trabalho versa sobre as vantagens da construção de telhados verdes, em comparação com os telhados que utilizam métodos convencionais. Frente à crescente necessidade de adaptação das edificações para minimizar os impactos ambientais causados com a urbanização desenfreada das grandes cidades, tais problemas como o efeito estufa, ilhas de calor e prejuízos com a absorção da água das chuvas devido à impermeabilização do solo causados pela retirada da vegetação. Estão sendo buscadas soluções. Estudos comprovam que os telhados verdes são uma alternativa para amenizar estes impactos. Esse trabalho faz a comparação, quanto aos aspectos de custos de construção, entre coberturas que utilizam vegetação (telhados verdes) e os convencionais que utilizam telhas de fibrocimento e cerâmicas do tipo francesa em suas coberturas. Foram abordados telhados que se adaptam ao clima da região analisada. Através de pesquisa bibliográfica estabeleceu-se aspectos para definição dos custos de execução levando em consideração materiais utilizados, prazos de execução e necessidade de mão de obra. Primeiramente, foi realizado um projeto padrão de edificação que atendia às exigências de execução dos três tipos de coberturas para uma residência unifamiliar, a fim de evitar problemas que pudessem comprometer a comparação dos custos de execução. A seguir foram caracterizados os três tipos de telhados com seus respectivos métodos construtivos e, de posse destes dados, foram estabelecidos seus custos. A partir deste ponto, verificou-se que o maior custo era o telhado verde, cerca de 81,06% e de 24,74% em comparação com as coberturas que utilizam telhas de fibrocimento e cerâmicas do tipo francesa respectivamente. Ao término do estudo foram apresentadas as vantagens e os benefícios na utilização do telhado verde, a fim de buscar justificativas para sua implantação. O conforto térmico e o controle no escoamento da água das chuvas são alguns exemplos de pesquisas acadêmicas que comprovam as vantagens na utilização do telhado verde.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Etapas da Pesquisa | 16 |
| Figura 2 – Experimento para medição do desempenho térmico do telhado verde | 45 |
| Figura 3 – Evolução das temperaturas externa e interna do ar | 45 |
| Figura 4 – Evolução das temperaturas interna preso junto à superfície da telha e externa das caixas | 46 |
| Figura 5 – Sistema de iluminação desativado | 47 |
| Figura 6 – Sistema de iluminação ativado | 47 |
| Figura 7 – Célula-teste com telhado verde | 48 |
| Figura 8 – Diagrama comparativo entre as temperaturas inferiores para os telhados de fibrocimento, tetra pak e telhado verde | 49 |
| Figura 9 – Nível de satisfação quanto ao uso da cobertura verde | 53 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Isolamento térmico em laje empregando poliestireno expandido em placas de 4 cm de espessura | 33 |
| Tabela 2 – Estrutura de madeira para telha ondulada de fibrocimento ancorada em laje..... | 34 |
| Tabela 3 – Cobertura com telha de fibrocimento perfil ondulado espessura 6 mm inclinação 27% | 35 |
| Tabela 4 – Cumeeira normal de fibrocimento para telha perfil ondulado espessura 6 mm | 35 |
| Tabela 5 – Resultados calculados para custos e prazos de execução do telhado de fibrocimento | 36 |
| Tabela 6 – Estrutura de madeira para telha cerâmica ancorada em laje | 36 |
| Tabela 7 – Cobertura com telha cerâmica inclinação 35% | 37 |
| Tabela 8 – Emboçamento de cumeeira para telha cerâmica com argamassa de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar | 38 |
| Tabela 9 – Resultados calculados para custos e prazos de execução do telhado cerâmico tipo francesa | 38 |
| Tabela 10 – Descrição dos materiais necessários para cobrir uma área de 50 m ² | 39 |
| Tabela 11 – Composição para impermeabilização de cobertura plana, utilizando manta asfáltica polimérica | 40 |
| Tabela 12 – Resultados calculados para custos e prazos de execução do telhado verde..... | 41 |
| Tabela 13 – Comparação dos custos e prazos de execução dos três telhados | 41 |
| Tabela 14 – Volumes escoados nos quatro módulos experimentais após 12 horas do início da precipitação | 52 |

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AIA – Avaliação de Impacto Ambiental

CEF – Caixa Econômica Federal

EIA – Estudos de Impacto Ambiental

IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas

Isofoam – Poliestireno expandido de alta densidade

TCPO – Tabela de Composições de Preços para Orçamentos

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

LISTA DE SÍMBOLOS

R = resistência térmica de um componente ($m^2.K/W$)

e = espessura de uma camada (m)

λ = condutividade térmica do material ($W/m.K$).

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 DIRETRIZES DE PESQUISA | 14 |
| 2.1 QUESTÃO DE PESQUISA | 14 |
| 2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO | 14 |
| 2.2.1 Objetivo principal | 14 |
| 2.2.2 Objetivos secundários | 14 |
| 2.3 DELIMITAÇÕES | 15 |
| 2.4 LIMITAÇÕES | 15 |
| 2.5 DELINEAMENTO | 15 |
| 3 SUSTENTABILIDADE | 18 |
| 4 TELHADOS CONVENCIONAIS E VERDES | 25 |
| 4.1 TELHADOS CONVENCIONAIS | 25 |
| 4.1.1 Telhados de fibrocimento | 25 |
| 4.1.2 Telhados cerâmicos com telhas tipo francesa | 26 |
| 4.2 TELHADOS VERDES | 27 |
| 5 SOLUÇÃO PROJETUAL PARA OS TELHADOS | 31 |
| 5.1 CUSTOS E PRAZOS DE EXECUÇÃO | 33 |
| 5.1.1 Telhados de fibrocimento | 33 |
| 5.1.2 Telhados cerâmicos com telhas tipo francesa | 36 |
| 5.1.3 Telhado verde | 39 |
| 5.2 ANÁLISES DOS RESULTADOS | 41 |
| 6 VANTAGENS E BENEFÍCIOS DOS TELHADOS VERDES | 42 |
| 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 55 |
| REFERÊNCIAS | 56 |

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento desenfreado das grandes cidades acaba gerando impactos ambientais. Para possibilitar a construção de prédios e pavimentações com asfalto ou concreto, torna-se necessária a derrubada ou corte de árvores, bem como a retirada de gramados para tornar viável a implementação dos mesmos. Essas substituições da camada de revestimento do solo contribuem com os prejuízos de absorção da água das chuvas, devido à impermeabilização do solo, gerando em muitas situações de alagamentos. Além disto, a incidência dos raios solares, que quando projetados no asfalto e concreto ocasionam aumento da temperatura local muito maior que se houvesse cobertura vegetal, agrava o aquecimento local. Sendo que essas construções, mesmo que economicamente viáveis, muitas vezes não levam em conta os impactos ambientais.

Face ao exposto, e admitindo a necessidade de edificar, percebe-se uma necessidade de adaptação das edificações para esta nova realidade. Uma alternativa que poderia vir a reduzir consideravelmente estes impactos seria a das construções utilizando telhados verdes, que utilizam solo e vegetação sobre a cobertura das edificações. Além de melhorarem a qualidade do ar no entorno da edificação através da absorção de CO₂ pela vegetação, proporcionam um melhor conforto térmico ao ambiente interno, servindo como isolante térmico, pois, devido à evapotranspiração das plantas, há redução da temperatura do ar. A camada de substrato ainda funciona como um isolante acústico.

O telhado verde ainda reduz o volume de escoamento da água das chuvas e, quando há a possibilidade de coleta de água pluvial, o telhado verde funciona também como um filtro, proporcionando uma melhor qualidade da água que pode ser aproveitada na irrigação de jardins e na lavagem de calçadas e carros. Outra vantagem desses telhados é o enriquecimento da biodiversidade das espécies de plantas do local. Como não sofre com o trânsito de pessoas, é um excelente habitat para acomodação de pássaros e insetos que transportam naturalmente as sementes de um local para o outro ocasionando o nascimento espontâneo de novas espécies nessas coberturas.

O objetivo deste trabalho é a apresentação de justificativas para a escolha de telhados verdes em coberturas de edificações, em comparação aos que utilizam as técnicas convencionais de

construção com telhas de fibrocimento e cerâmica tipo francesa. Compararam-se os métodos construtivos, analisando materiais utilizados, prazos, necessidade de mão de obra e custos. Verificando-se o custo superior para a execução do telhado verde, foram buscadas justificativas para sua implantação. Estudos e pesquisas das vantagens da utilização do telhado verde foram apresentados.

No capítulo 2, são apresentadas as diretrizes da pesquisa, incluindo a questão, objetivos, delimitações, limitações e delineamento deste estudo. No capítulo 3, é feita uma abordagem sobre o tema Sustentabilidade, características e termos sobre desenvolvimento sustentável são apresentados. Definições e conceitos são levantados e indicados como discutidos por diversos autores, e aspectos políticos de como a sociedade apresenta diferentes interesses para um desenvolvimento sustentável.

No capítulo 4, são apresentados os telhados estudados, características construtivas e normas vigentes para as coberturas que utilizam métodos convencionais de construção. Para os telhados verdes é realizada sua caracterização e apresentada suas vantagens. São abordados estudos referentes às suas propriedades, como o controle do escoamento da água das chuvas e o seu desempenho térmico.

No capítulo 5, é apresentada a solução projetual para os telhados convencionais para adequação em comparação com o telhado verde. São calculados os custos e são definidos os prazos de execução dos telhados estudados e é apresentado o comparativo entre eles.

No capítulo 6, são apresentadas justificativas para a escolha de telhados verdes para coberturas de edificações através de estudos e pesquisas acadêmicas que comprovam as vantagens na utilização do telhado verde. No capítulo 7, por fim, são feitas as considerações finais do trabalho.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: constatando que o custo de execução do telhado verde estudado é maior que o correspondente aos convencionais de telha de fibrocimento e cerâmicas tipo francesa, quais justificativas podem ser apresentadas para ainda assim fazer uso dessa alternativa, uma vez que colabora com o conforto térmico, redução do volume de escoamento da água das chuvas e isolamento térmico e acústico?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal do trabalho é a apresentação de justificativas para a escolha de telhados verdes para coberturas de edificações em comparação aos que utilizam as técnicas convencionais com telhas de fibrocimento e cerâmicas tipo francesa, frente aos custos superiores constatados na proposta apresentada para o telhado verde.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) para uma habitação unifamiliar fazer caracterização dos componentes e respectivos custos de telhado,
 - verde;
 - com telha de fibrocimento;
 - com telhas cerâmicas tipo francesa;

- b) avaliação das diferenças de custo de construção de telhados verdes e convencionais.

2.3 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a análise de soluções para telhado para uma habitação unifamiliar de cerca de 50 m².

2.4 LIMITAÇÕES

São limitações deste trabalho:

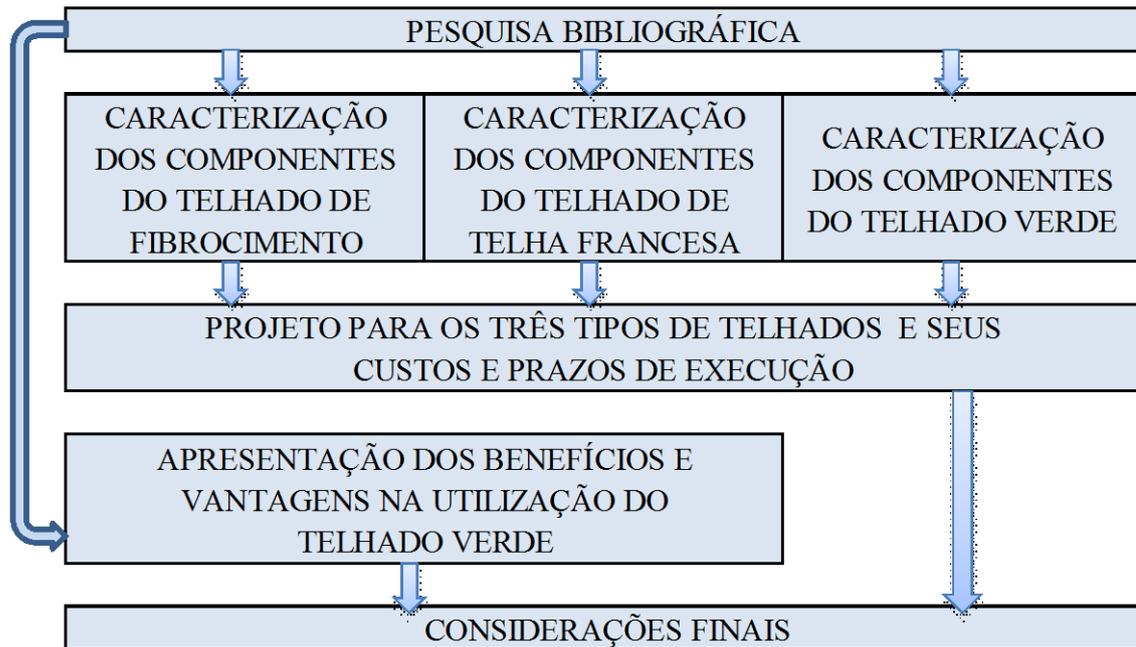
- a) análise de apenas dois tipos de telhados convencionais, com telhas de fibrocimento e cerâmica tipo francesa, e um telhado verde;
- b) para o telhado verde, consideração apenas do clima da região analisada para escolha de espécies de vegetais;
- c) foram analisados apenas os custos iniciais, não levando em consideração o longo prazo, bem como seus consumos de energia para climatização;
- d) foi proposta uma solução projetual para cada tipo de telhado, todas com características semelhantes para não comprometer a comparação proposta.

2.5 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) caracterização e comparação dos métodos construtivos de telhados com telhas de fibrocimento e cerâmicas tipo francesa com as de telhado verde;
- c) projeto dos três tipos de telhados e definição dos seus custos;
- d) apresentação dos benefícios e vantagens na utilização do telhado verde;
- e) considerações finais.

Figura 1 – Etapas da pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

Inicialmente foi realizada uma **pesquisa bibliográfica** que serviu de fonte para coleta de dados utilizados no trabalho. Foram analisados os três tipos de telhados, dois convencionais, com telhas de fibrocimento e cerâmicas tipo francesa, e, o terceiro tipo, um telhado verde. Foram avaliadas as características apresentadas pelo telhado verde para o conforto térmico, manutenção da umidade relativa do ambiente, diminuição dos efeitos da radiação solar, isolamento acústico e aspectos de redução do volume do escoamento da água das chuvas. Também foram analisados, na pesquisa bibliográfica, aspectos a serem considerados para o desenvolvimento sustentável.

Após, foi realizada uma pesquisa dos **métodos construtivos** de telhados com telhas de fibrocimento e cerâmicas do tipo francesa, por serem consideradas os mais usuais para edificações residenciais. Identificou-se o telhado verde mais adotado no Rio Grande do Sul e esse também foi descrito. Foram coletados dados como custos, prazos de execução, materiais e profissionais necessários para a construção de cada um dos três tipos de telhados para cobertura para uma área de 50 m².

Para evitar problemas que comprometam a comparação dos custos de execução dos telhados, foi proposto um único **projeto de residência no qual são viáveis os três tipos de telhados**. Considerando que as três coberturas estudadas apresentam características e propriedades

diferentes, foi apresentada uma solução projetual necessária para se evitar comprometer a comparação proposta.

A próxima etapa foi o **cálculo dos custos e prazos de execução** para os três tipos de telhados estudados, apresentando os respectivos serviços com suas composições, custos dos insumos e prazos de execução. Obtendo um resultado final para construção das coberturas com telhas de fibrocimento, cerâmicas do tipo francesa e do telhado verde, realizando a comparação percentual entre eles.

Em seguida foram apresentadas as **vantagens e os benefícios na utilização do telhado verde** para coberturas de edificações em comparação aos que utilizam as técnicas convencionais com telhas de fibrocimento e cerâmicas tipo francesa. Através de estudos e pesquisas acadêmicas das características e propriedades apresentadas pelo telhado verde. Por fim, foram apresentadas as **considerações finais**.

3 SUSTENTABILIDADE

Cada vez mais a construção civil apresenta uma preocupação com os impactos que suas obras causam no presente e principalmente no futuro do Planeta. O termo sustentabilidade vem ganhando força e conquistando adeptos que adotam seus princípios de preservação dos recursos naturais. Investimentos em pesquisas, para descobertas de novos materiais que causem menor dano ambiental e apresentem menor custo, vêm sendo realizados nas mais diversas áreas de atividade da construção civil.

O crescimento das cidades acaba gerando uma necessidade de edificar, com isso gramados são retirados, árvores são derrubadas e, estas ações humanas sobre a natureza atingem o ecossistema, causando impactos ambientais negativos, como descreve Poletto (2010, p. 183):

Atividades antrópicas (ação humana sobre a natureza) atingem diretamente os ecossistemas e levam a danos ambientais de maior ou menor proporção atingindo, assim, a estrutura trófica (estrato autotrófico e heterotrófico) dos mesmos. Tais atividades resultam em danos ambientais toda vez que houver modificação das características biológicas, físicas e químicas em uma dada área e afetam diretamente o ecossistema local levando a perdas ou restrições como a destruição ou a remoção de vegetação, expulsão ou extinção de fauna, perda (erosão) do solo, assoreamento ou contaminação de corpos de água e perdas em termo de produtividade.

Sustentabilidade vem a ser uma condição de uso dos recursos naturais do meio ambiente para satisfazer as necessidades da sociedade, como moradia e geração de energia, sem que afete a capacidade de renovação destes recursos a curto e, principalmente, a longo prazo. No momento de ser caracterizado o termo sustentabilidade, existem aspectos a serem levados em consideração. Surgem outros termos como **ecocentrismo** e **tecnocentrismo** que é mencionado por Van Bellen¹(2007, p. 25 apud OLIVEIRA et al., 2009, p. 5, grifo do autor):

[...] o ecocentrismo contempla a importância do capital natural e sua conservação e observa os limites naturais para a implementação do desenvolvimento no planeta. De outra maneira, o tecnocentrismo **‘propõe que a sustentabilidade se refere à manutenção do capital total disponível no planeta e que ela pode ser alcançada pela substituição de capital natural pelo capital gerado pela capacidade humana’**.

¹ VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de sustentabilidade**: uma análise comparativa. 2. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2007.

Estes termos também são mencionados por Furlan (2010, p. 38), que define os tecnocêntricos como consumistas inevitáveis da disponibilidade ecológica, considerando seus custos irrelevantes diante dos benefícios obtidos. Já os ecocêntricos, defendem que o meio ambiente apresenta limites absolutos para o crescimento econômico. De acordo com seus princípios a humanidade estaria indo ao encontro a uma catástrofe anunciada caso fossem mantidas as taxas de extração dos recursos naturais e de assimilação do meio frente aos impactos causados por esta atividade, visto que os recursos naturais são finitos.

O ecossistema apresenta uma capacidade de absorção aos danos causados pelas atividades do ser humano. Sendo classificada em perturbação, quando o local afetado consegue voltar ao seu estado anterior, e em degradação, quando o local não apresentar condições de retorno a seu estado anterior, como descreve Poletto (2010, p. 183):

O dano ambiental comprometerá a estabilidade do ecossistema (capacidade de absorver um dano sem modificar-se) podendo levá-lo à perturbação ou à degradação. Entende-se que haverá perturbação sempre e quando for possível ao local afetado retornar à condição original ou outra condição dinamicamente estável sem ação antrópica uma vez que a origem do dano tenha cessado. [...]. Já uma área será considerada degradada quando sua resiliência (habilidade em recuperar-se de um dano) e estabilidade forem perdidas. Áreas degradadas, fruto de ação antrópica, retornarão a uma condição estável somente após intervenção ativa sobre as mesmas.

Relatórios sobre os impactos ambientais vêm sendo desenvolvidos para se ter uma abordagem dos danos e prejuízos causados pela sociedade com suas obras e materiais utilizados sobre o Planeta. Muitos aspectos estão sendo analisados, como o sistema econômico e social, como comenta Constanza² (1991 apud OLIVEIRA et al., 2009, p. 7, grifo do autor):

[...] que o termo **desenvolvimento sustentável** deve contemplar a relação dinâmica entre o sistema ecológico – que experimenta uma escala temporal geológica – e o sistema econômico e social do ser humano, com um processo de maturação de poucos anos. O desafio do desenvolvimento sustentável é propiciar a manutenção do desenvolvimento a longo prazo compatibilizando suas diversas temáticas e especificidades com escalas temporais tão díspares.

Mesmo não se tendo uma conclusão definitiva sobre o tema, percebe-se claramente que o crescimento da sociedade está cada vez mais alterando e afetando o meio ambiente,

² CONSTANZA, R. **Ecological Economics: the science and management of sustainability**. New York: Columbia University Press, 1991.

consumindo seus recursos naturais sem controle e nem preocupação com futuros impactos sobre o meio ambiente, visto que são recursos naturais finitos. Isto tudo é fruto de uma sociedade que visa lucros e crescimento constantes, como salientam Oliveira et al. (2009, p. 8, grifo do autor):

Contudo, mantida a gênese do modo de produção capitalista, o conceito **desenvolvimento sustentável** é apenas retórica desenvolvimentista incluída em discursos reformistas dos que apregoam o crescimento econômico constante. Afinal, o crescimento constante é incompatível com a sustentabilidade ambiental, posto que os recursos naturais são finitos e a capacidade de organização social e política da sociedade é limitada. As necessidades a serem atendidas não podem ser ilimitadas, portanto.

A demanda crescente da sociedade por bens e serviços que atendam as necessidades de uma população cada vez mais exigente, gerando devido a isto um consumo maior de energia e alimentos. Outros problemas surgem vinculados a esta situação, como uma produção de resíduos maior que a capacidade de assimilação do ecossistema no presente modelo econômico, salientado por Poletto (2010, p. 298):

O modelo econômico atual preconiza, portanto, o consumo, acelera o processo de degradação dos recursos naturais, cria tecnologias poluidoras em função de atender às necessidades geradas e contribui, como não poderia deixar de ser, para a geração de resíduos, sendo esta ainda função direta do crescimento populacional, o que torna o problema ainda mais grave.

Devido ao fato de se ter inúmeras possíveis definições para o termo sustentabilidade, foi necessário classificá-lo em três categorias, que buscam um equilíbrio entre elas, e chamados de pilares da sustentabilidade: econômico, social e ambiental. Ainda são classificadas em sustentabilidade **ambiental** e sustentabilidade **integrada**, em que cada uma atribui pesos e valores aos pilares como melhor lhe convier, como definem Oliveira et al. (2009, p. 10, grifo do autor):

A despeito de um vasto número de definições, a implementação do conceito de sustentabilidade se encontra claramente condicionada a dois caminhos possíveis: a reestruturação dos vetores com vistas a um arranjo equilibrado entre três pilares da sustentabilidade, o que significa atribuir um novo valor à variável ambiental no processo decisório (por essa razão, denominada sustentabilidade **ambiental**); e a integração dos valores ambiental e social ao contexto econômico, sem alteração no (des)equilíbrio das forças que os mantêm. [...]. Por outro lado, a busca de um equilíbrio entre os fatores na sustentabilidade ambiental induz à observância de uma agenda mínima e equilibrada entre cada um dos pilares contemplados: econômico, social e ambiental.

Mas este equilíbrio dos pilares depende muito dos interesses da sociedade e de seus governantes, que tendem para os valores econômicos em detrimento dos valores sociais e ambientais. Quando este equilíbrio sofre uma desigualdade de condições, ocorre um menor desenvolvimento para os dois pilares restantes, como descrito por Oliveira et al. (2009, p. 11, grifo do autor):

Além disso, o peso da agenda econômica no contexto histórico da sociedade só cederá espaço para a área social e, mais recentemente, para a área ambiental, se houver muito esforço da sociedade e também determinação política.

Caso se mantenha a força econômica e os demais valores a serem contemplados não consigam igualdade de condições com os valores econômicos, eles foram sufocados e não alcançarão seus objetivos. Com isso, continuará a ser verificada uma valoração desequilibrada dos fatores econômicos em face dos demais. Assim, a **sustentabilidade integrada**, ao manter sua lógica, terá a área econômica mais forte e mais representada, deixando aos dois pilares restantes, o social e o ambiental, pouca possibilidade de crescimento. Há que se diferenciar o que pode ser chamado de uma **decisão integrada** de desenvolvimento de uma **decisão sustentável**, tendo em vista que a primeira não se pauta, necessariamente, pela observância e garantia dos limites ambientais.

Por sua vez, a **sustentabilidade ambiental**, que reconhece a defasagem de inclusão dos temas ambiental e social nos processos decisórios da sociedade capitalista, impõe que os novos valores sejam incorporados na justa medida e consonância com o econômico. [...].

Este desenvolvimento sustentável, que começa a tomar forma e que muitos buscam, seguirá sofrendo pressões de órgãos e governos, que almejam interesses econômicos. Para que haja uma mudança de conceitos e visões, deve-se tomar atitudes mais convincentes sobre os interesses de preservação que o desenvolvimento sustentável aborda, como afirmam Blowers e Glasbergen³ (1996, p. 25 apud OLIVEIRA et al., 2009, p. 11-12): “[...] continuará a se submeter a interpretações variadas dependendo do interesse envolvido e, nesse sentido, o sistema de valor dominante deve ser desafiado para que as mudanças realmente aconteçam em prol da sustentabilidade ambiental.”.

³ BLOWERS, A., GLASBERGEN, P. **Environmental policy in an international context**. London: Arnold, 1996. v. 3.

Devido ao fato de se submeterem a diferentes interesses, sustentabilidade ambiental e integrada sofrem uma diferenciação dependente das decisões políticas adotadas, para Oliveira et al. (2009, p. 13, grifo do autor):

Cabe observar que os termos desenvolvimento sustentável e sustentabilidade são, muitas vezes sinônimos, o que os torna mais frágeis e distantes de seus pressupostos. A sustentabilidade é conceito de Política e, portanto, as diferentes abordagens adotadas em sua implementação dependem de decisão política, o que tem provocado, na prática, uma diferenciação em sustentabilidade **ambiental** ou **integrada**.

No momento de ser avaliado o impacto que a sociedade esta causando ao meio ambiente, deve-se levar em consideração as condições do local. Como as necessidades de bens e serviços são características de cada região ao redor do mundo, Oliveira et al. (2009, p. 17) salientam:

Um outro aspecto relevante desta questão remete às condições globais para a sustentabilidade. A demanda por bens e serviços ocorre em todos os países do planeta, porém verifica-se uma grande disparidade dos padrões de vida e de consumo das diferentes populações destes países, bem como um crescente índice de desigualdade entre eles.

O Estudo de Impacto Ambiental (EIA) vem sendo analisado juntamente com a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) para decisões a serem tomadas sobre escolha para projetos de determinada região, analisando seus aspectos políticos, culturais, sociais e ambientais como descrevem Oliveira et al. (2009, p. 23):

A busca por instrumentos de avaliação de impactos ambientais a serem aplicados como suporte à tomada de decisão, em um contexto de sustentabilidade, tem experiências diversas no planeta, em função das diferentes realidades políticas, culturais, sociais e ambientais encontradas. Contudo, dois instrumentos se apresentam com a possibilidade de inserir a questão ambiental nas tomadas de decisão: os Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e as Avaliações Ambientais Estratégicas (AAE), cada qual com seu âmbito de aplicação.

Um dos impactos estudados refere-se à drenagem urbana. Com o crescimento da cidade, áreas impermeabilizadas com asfalto e concreto, nas ruas e calçadas, acabam gerando um grave problema de falta de alternativas eficientes para drenagem de toda água pluvial gerada nas grandes enxurradas. Sobre isso, Oliveira et al. (2009, p. 138) comentam:

Uma das consequências mais destacadas do processo de urbanização é a alteração nos padrões de escoamento dos cursos d'água, sendo consenso no meio técnico que a reversão de tais interferências à condição original é algo virtualmente impossível, por limitações de ordem técnica, financeira ou política. O aspecto da drenagem superficial está ligado a boa parte dos processos de degradação do ambiente urbano, [...].

Tucci⁴ (2002 apud OLIVEIRA et al., 2009, p. 138) menciona a importância de planejamento e de infraestrutura na realidade brasileira:

[...], a falta de planejamento e de investimentos público no direcionamento da ocupação do território impõe ao poder público, num segundo momento, o ônus da regularização e implementação da infraestrutura associada. Destacada a importância de ajustar as soluções para a realidade brasileira, especialmente considerando a influência de objetivos políticos sobre as decisões referentes à alocação de recursos, muitas vezes distantes do conjunto de medidas necessárias ao gerenciamento das cidades.

Esta falta de infraestrutura das cidades fica cada vez mais visível em decorrência das seguidas inundações, causadas pela impermeabilização do solo, como avalia Tucci⁵ (2002 apud OLIVEIRA et al., 2009, p. 153):

[...] à medida que a cidade se urbaniza é possível verificar a ocorrência de diversos impactos associados ao escoamento superficial: inundações por aumento de área impermeabilizada, produção maior de sedimentos em superfícies desprotegidas, deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea por contaminação e carreamento de resíduos sólidos, aumento dos custos e operação dos sistemas de drenagem urbana por implantação desorganizada da infraestrutura sem planejamento adequado. Tais impactos, por não estarem integrados aos instrumentos de conflitos que são potencializados pelo tratamento isolado de cada caso em relação aos demais.

A busca por medidas que venham fortalecer a ideia e reforçar a adoção da sustentabilidade ambiental pode levar algum tempo ainda devido aos interesses que o cercam. Sempre com o pensamento do menor custo e retorno em curto prazo dos investimentos realizados, ainda não se tem nada de concreto sobre o assunto, como relatam Oliveira et al. (2009, p. 28):

A adoção da sustentabilidade ambiental é uma alternativa importante para agregar o valor ambiental aos processos decisórios sobre Políticas, Planos, Programas e Projetos, pois o limite ambiental, expresso pela capacidade de

⁴ TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da Drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 5-27, jan./mar. 2002.

⁵ op cit.

suporte, tomará lugar do limite econômico que é expresso, simplesmente, por menor custo e maior retorno econômico em curto prazo.

O discurso do desenvolvimento sustentável ainda não se reflete plenamente na prática. No entanto, o caminho já pode ser identificado e algumas alterações percebidas e ilustradas por experiências pontuais.

4 TELHADOS CONVENCIONAIS E VERDES

Neste trabalho foram estudados para cobertura da edificação unifamiliar proposta, dois telhados que utilizam técnicas convencionais de construção e um telhado verde que utiliza vegetação em sua cobertura. A seguir foram descritos especificações, características e normas de cada um dos três tipos de coberturas.

4.1 TELHADOS CONVENCIONAIS

Foram abordados no trabalho telhados projetados com telhas de fibrocimento e cerâmica tipo francesa, como telhados convencionais para comparação dos métodos, prazos e custos de construção com os do telhado verde. A determinação para escolha destes telhados foi por serem considerados os mais utilizados como alternativa de cobertura das edificações devido ao seu baixo custo de implantação. A seguir uma descrição dos dois tipos escolhidos.

4.1.1 Telhados de fibrocimento

Edificações que utilizam telhas de fibrocimento em suas coberturas são muito comuns, pois o seu baixo custo e simplicidade de instalação são atrativos para a escolha deste tipo de telhado. São utilizadas tanto em edificações residenciais quanto comerciais e industriais. A sua execução segue a NBR 7.196/1983 – Folha de Telha Ondulada de Fibrocimento: procedimento. No seu texto a Norma aborda temas tais como se deve proceder a execução do fechamento lateral, além de mencionar seus elementos de fixação, inclinação do telhado, etc.

De acordo com a NBR 7.196 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1983a, p. 5), o projeto deve atender algumas condições específicas, dentre elas:

As telhas devem ser apoiadas sobre elementos coplanares.

No caso da cobertura apresentar um desenvolvimento poliédrico, devem ser usadas apenas telhas de 6 mm e 8 mm de espessura.

Se o ângulo entre as faces da cobertura for superior a 6° [...], devem ser adotadas providências especiais de vedação nos recobrimentos das telhas.

Não é permitido o uso de telhas de espessura de 5 mm em edificações onde a distância do solo ao ponto mais alto da cobertura seja superior a 7,00 m e que a distância deste ponto ao piso subjacente seja superior a 4,00 m.

Quanto à execução de coberturas a NBR 7.196 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1983a, p. 8) menciona:

A montagem das telhas deve ser feita por faixas, no sentido do beiral para a cumeeira.

A sequência de faixas deve ser no sentido inverso ao dos ventos dominantes na região.

Para permitir uma montagem perfeita da cumeeira, manter alinhados as ondas das telhas nas duas águas da cobertura.

Nos cruzamentos de recobrimento longitudinal com recobrimento lateral, devem-se cortar dois cantos das quatro telhas envolvidas, para evitar a sobreposição de quatro espessuras, devendo este procedimento se estendido também às peças complementares.

Quanto aos cortes das telhas para evitar sobreposição nos cantos a Norma NBR 7.196 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1983a, p. 9) menciona:

Os cortes nas telhas e peças complementares devem ser preferencialmente efetuados antes delas serem içadas.

Na execução dos cortes deve-se utilizar ferramental adequado (serra, serrote, torquês) a fim de evitar esforços de flexão nas telhas.

4.1.2 Telhados cerâmicos com telhas tipo francesa

A telha cerâmica tipo francesa é uma das mais utilizadas na construção de coberturas de telhados, por serem de baixo custo e terem uma boa aceitação quanto à estética que proporciona para a edificação. Sua execução está normatizada pela NBR 8.039/1983 – Projeto e Execução de Telhados com Telhas Cerâmicas tipo Francesa: procedimento. Critérios construtivos estão mencionados em seu texto, como beiral, cumeeira, espigão, inclinação do telhado, etc.

De acordo com a NBR 8.039 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1983b, p. 3), “Os telhados devem ser executados com declividade compreendida entre 32% e

40%.” e “A declividade pode ser maior, se as telhas forem fixadas com arame, através da orelha de aramar, à estrutura de apoio do telhado.”.

Quanto à disposição das telhas e componentes a NBR 8.039 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1983b, p. 3) indica que:

A colocação das telhas deve ser feita por fiadas, iniciando-se pelo beiral e prosseguindo-se em direção à cummeira.

Na colocação das telhas ou na manutenção do telhado, os montadores não devem pisar diretamente nas telhas, devendo utilizar tábuas que distribuam os esforços.

As telhas devem apoiar-se sobre elementos coplanares, isto é, nas faces superiores das ripas.

Para o procedimento de colocação da cumeeira a NBR 8.039 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1983b, p. 3) menciona que:

A cumeeira deve ser emboçada com uma argamassa com capacidade de retenção de água, impermeável, insolúvel em água e que garanta uma boa aderência ; consideram-se como adequadas as argamassas de traço 1:2:9 ou 1:3:12 (cimento, cal, areia, em volume) ou quaisquer outras argamassas com propriedades equivalentes.

Não devem ser empregadas argamassas de cimento e areia.

4.2 TELHADOS VERDES

A definição de telhados verdes, segundo Heneine (2008), é a utilização de solo e vegetação na cobertura das edificações, podendo ser elas vegetação composta por plantas suculentas e gramíneas dentre outras, cada qual utilizada de acordo com o local e propósito de projeto. Essa alternativa teve origem por fatores diferentes ao longo da história. Antigas civilizações adotaram vegetações nos telhados de suas edificações com a proposta de agregar valor ornamental, sendo um dos mais famosos os Jardins Suspensos da Babilônia, em 78 a.C.

O autor ainda destaca que os também chamados de telhados vivos, começaram a ganhar força e importância na década de 1960 na Alemanha. Foram escritos muitos livros e artigos sobre o assunto na intenção de encorajar arquitetos a adotar a ideia em seus projetos para melhoramento ambiental urbano.

Em muitos países da Europa, o telhado verde é utilizado para diminuição do consumo de energia elétrica com equipamentos de ar condicionado e calefação. Por apresentar propriedade de isolante térmico, devido redução dos efeitos da insolação, pois a vegetação reflete e absorve a radiação solar, além da camada de substrato ser uma barreira à passagem de calor. Sua utilização como isolante térmico ainda não é muito praticada nos projetos de engenharia no Brasil, pois de acordo com Pouey et al. (1998, p. 473):

No Brasil, o uso da vegetação na cobertura, como solução térmica, é uma ideia recente e pouco difundida. No entanto, as coberturas verdes são amplamente utilizadas na Europa, principalmente em países como a Alemanha, Itália, Inglaterra, Dinamarca, e estão em uso crescente no Japão, apresentando várias vantagens, tanto de ordem técnica, como estética e psicológica.

Estas e outras vantagens também são mencionadas por Pouey et al. (1998, p. 473):

Entre as vantagens de ordem técnica, são citadas: isolamento termo/acústico, proteção da impermeabilização e redução das patologias em lajes de coberturas pela redução da variação térmica nos elementos constituintes da cobertura e diminuição e/ou retardamento do volume de águas pluviais escoadas nas redes dos centros urbanos.

Ainda de acordo com Pouey et al. (1998, p. 473), “O uso de solo vegetado sobre uma laje de cobertura reduz o efeito da insolação, pois de um lado a vegetação reflete e absorve a radiação solar, e de outro lado o substrato para esta vegetação constitui uma barreira adicional à passagem de calor.”.

Os telhados verdes estão classificados em duas categorias: extensivos e intensivos. Cada qual tem suas características, como descreve Krebs (2005, p. 37):

Para compreender as principais diferenças de implementação e manutenção de coberturas vivas é importante que se conheça sua classificação, assim como as peculiaridades relacionadas a um e outro tipo de cobertura. A literatura pesquisada identifica dois tipos de coberturas vivas. Esta classificação leva em conta a espessura da camada de substrato, os tipos de plantas a ele associados, e a necessidade de manutenção.

As chamadas coberturas vivas intensivas (ou ajardinadas) referem-se àquelas com camadas de substrato superiores a 20 cm, e somente são possíveis em coberturas planas. [...]. As coberturas denominadas extensivas (ou ecológicas), por sua vez, possuem uma camada de substrato menor, geralmente próxima de 10 cm, e podem ser executadas tanto em coberturas planas, quanto em inclinadas.

Telhados verdes com cobertura de vegetação extensiva são em geral de pequeno porte, como gramas e ervas, e que dispensam menos manutenção, portanto, adotadas em telhados com inclinação. Alguns cuidados devem ser tomados no momento da execução como aponta Krebs (2005, p. 69):

Durante a execução, alguns cuidados devem ser tomados a fim de assegurar um bom funcionamento da cobertura extensiva. Em primeiro lugar, faz-se necessário um minucioso estudo e entendimento do projeto, que deverá ser respeitado na íntegra, evitando assim improvisos durante a montagem da cobertura. Para que isto seja possível, o projeto executivo deve ser pormenorizado, com todas as especificações de materiais, dimensões e detalhamentos técnicos da estrutura.

Algumas medidas para construção do telhado verde devem ser levadas em consideração no momento da execução do projeto. A seguir são listadas as camadas que compõem a cobertura verde e suas respectivas funções descritas por Araújo (2007, p. 5, grifo do autor):

- a) **laje**: elemento estrutural onde devem ser consideradas as cargas permanentes e as cargas acidentais, também pode ser utilizado um outro suporte estrutural;
- b) **camada impermeabilizante**: a função é proteger o elemento estrutural de infiltrações, pode ser utilizado materiais diferentes como betuminosos e sintéticos;
- c) **isolante térmico**: é utilizado de acordo com a incidência de energia solar que a cobertura absorve, poliestireno extrudado pode ser utilizado como material isolante térmico;
- d) **camada drenante**: tem como função dar vazão ao excesso de água no solo, pode ser constituída de argila expandida, brita ou seixos de diâmetros semelhantes, sendo fundamental para o sistema. Sua espessura pode variar de 7 cm a 10 cm, elementos industrializados a base de poliestireno são frequentemente utilizados na Europa por também terem características de isolantes térmicos;
- e) **camada filtrante**: evita que a água das chuvas e das regas arraste as partículas de solo do telhado verde, utiliza-se normalmente uma manta geotêxtil;
- f) **solo**: substrato orgânico que deve possuir boa drenagem, de preferência um solo não argiloso que apresente uma boa composição mineral de nutrientes para o sucesso das plantas, a espessura varia de acordo com o tamanho das plantas, quanto maior for as plantas maior será a sua profundidade do solo;

- g) **vegetação:** para a sua escolha é necessário o conhecimento do clima local, o tipo de substrato a ser utilizado, tipo de manutenção que será adotada no telhado verde, no caso de irrigações, o ideal é a escolha de plantas que não são exigentes a umidade, resistem bem ao estresse hídrico.

Heinene (2008, p. 36) também salienta as vantagens dos telhados verdes para o controle do escoamento da água das chuvas e de isolamento térmico. Acredita que as pesquisas iniciais, realizadas na Alemanha, que apontam outras vantagens tem um pensamento fantasioso. Para o autor o uso de coberturas vegetais reduz a necessidade de condicionadores de ar, pois torna o ambiente mais equilibrado termicamente e com isso diminui o consumo de energia elétrica e ainda enriquece a biodiversidade. Menciona Heinene (2008, p. 37):

O melhoramento da biodiversidade através do uso de coberturas verdes deve-se ao fato das espécies de plantas, o habitat ou tipos de vegetação que está sendo usado como um modelo, serem similar ao de muitos ambientes de estações seca com solo raso e é claro que esses ambientes serão muito importantes como modelo para coberturas verdes. Eles são habitat para uma variedade de áreas e espécies rurais ou urbanas muitas vezes estão em risco ou já são preservadas.

Estudos comprovam as vantagens da utilização dos telhados verdes em coberturas, tanto residenciais quanto industriais. Um dos problemas, já apontados anteriormente, é seu alto custo de implementação. Novas tecnologias estão sendo estudadas para que torne economicamente viável o telhado verde nas edificações. Para Nakamura (2011, p. 94), o desenvolvimento de materiais como membranas impermeabilizantes, agentes inibidores de raízes e substratos de baixa densidade favoreceu a maior integração entre coberturas vivas e as edificações, porém ainda há atrasados se comparados a países como Canadá e Alemanha onde já se dispõem de tecnologias mais avançadas para realizar esta integração das coberturas verdes com as edificações.

Nakamura (2011, p. 96) salienta que se deve procurar por técnicas que agilizem a montagem e execução dos telhados verdes. Sugere sistemas em módulos, pois são mais fáceis de montar e desmontar, necessitando menos mão de obra e conseqüentemente diminuição de custos, além de produtos reciclados e plantas nativas da região. Sugere também observar um sistema de drenagem eficiente, nos telhados planos para evitar possíveis infiltrações e ainda a inclinação dos telhados para evitar deslizamentos, sendo necessário, em alguns casos instalações de travamentos.

5 SOLUÇÃO PROJETUAL PARA OS TELHADOS

Como neste trabalho foram analisados apenas custos iniciais, não levando em consideração os custos em longo prazo com manutenção e consumo de energia para climatização, foi necessária uma padronização nos três telhados estudados. Considerando que os telhados apresentam características e propriedades diferentes, foi necessária uma solução projetual para se evitar comprometer a comparação proposta. Simplificações foram adotadas pelo fato de que os três telhados apresentam as mesmas necessidades construtivas, serviços como rufos, calhas e proteção mecânica necessária tanto na impermeabilização do telhado verde e quanto na isolamento térmica dos telhados convencionais, serviços estes que não foram considerados no estudo.

Em uma primeira análise todos os três telhados cobrem uma mesma área de 50 m² de uma unidade residencial unifamiliar. As coberturas estão apoiadas em laje de concreto pré-moldado de espessura total de 12 cm.

Para fins de aproximar as características dos três telhados estudados houve a necessidade de uma adequação em seus processos construtivos. Nos telhados convencionais se fez necessário o acréscimo de uma isolamento térmica, para que equiparasse com o desempenho térmico do telhado verde. Este desempenho térmico é quantificado pela NBR 15.220/2003 – Desempenho Térmico de Edificações. Através das propriedades físicas dos materiais é medida sua transmitância térmica ou coeficiente global de transferência de calor.

O inverso da transmitância térmica é a resistência térmica, que a NBR 15.220-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p. 2), define a resistência térmica como “Quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário.”.

A resistência térmica é calculada utilizando medições baseadas em ensaios normalizados, na ausência de valores medidos a NBR 15.220-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003) recomenda o cálculo através da fórmula 1.

$$R = e / \lambda \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

R = resistência térmica de um componente [(m².K)/W];

e = espessura de uma camada (m);

λ = condutividade térmica do material [W/(m.K)].

Para os telhados convencionais a NBR 15.220-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p. 22) tem valores de transmitância térmica tabelados e esses são muito próximos para as coberturas que utilizam telhas de fibrocimento e cerâmicas. Para coberturas apoiadas em lajes com espessura de 12 cm a NBR 15.220 adota o valor de 1,93 W/(m².K). Já os telhados verdes, levando em consideração os executados utilizando métodos construtivos dos telhados estudados, quanto a transmitância térmica apresentam valores de 0,76 W/(m².K), obtidos por um estudo realizado por Vasconcelos (2011, p. 4). Com isto se percebe a necessidade de uma adaptação no projeto para adequação dos três telhados estudados para que se haja uma padronização no estudo quanto a transmitância térmica.

A diferença nos valores de transmitância térmica de 1,17 W/(m².K) apresentada pode ser minimizada através da inclusão de uma camada com isolamento térmica sobre a laje, utilizando-se material com propriedades térmicas. Para escolha do material deve-se levar em consideração o peso próprio e facilidade de instalação.

Foi determinado como isolante térmico o poliestireno expandido moldado (isopor), este material apresenta uma condutividade térmica de 0,040 W/(m.K). Faltando definir apenas a espessura para atender a demanda necessária de transmitância térmica, valor este que pode ser atribuído realizando o cálculo pela fórmula 1. Como a diferença apresentada é o valor de 1,17 W/(m².K), transformada em resistência térmica, se obtém o valor de 0,85 (m².K)/W, substituindo na fórmula 1 calcula-se o valor de aproximadamente 4 cm de espessura para o poliestireno expandido moldado.

5.1 CUSTOS E PRAZOS DE EXECUÇÃO

Nos próximos itens, são apresentadas as composições dos três telhados para ser efetuado o levantamento de seus custos e prazos de execução. Para os telhados convencionais, com telhas de fibrocimento e cerâmica tipo francesa, o estudo foi realizado através da literatura especializada em orçamentos e, para determinar os custos dos insumos, utilizou-se a tabela de insumos da Caixa Econômica Federal (CEF) do mês de setembro de 2013. Os dados dos telhados verdes foram fornecidos por empresa especializada que realizou a execução deste tipo de cobertura.

5.1.1 Telhados de fibrocimento

Primeiramente foi analisado o sistema de isolante térmico, a seguir o madeiramento necessário, após estudou-se a composição para instalação das telhas de fibrocimento e as cumeeiras, os valores dos insumos foi determinada através da consulta da tabela de insumos da CEF.

A execução do isolamento térmico necessário para que o telhado de fibrocimento tenha aproximadamente a mesma transmitância térmica em relação ao telhado verde, foi realizada através da composição da TCPO (TABELAS..., 2008, p. 247). A espessura do poliestireno expandido adotada foi de 4 cm, por corresponder a necessidade da isolação térmica. A tabela 1 apresenta a composição e custos necessários para execução do serviço por m².

Tabela 1 – Isolamento térmico em laje empregando poliestireno expandido em placas de 4 cm de espessura

| Componentes | unid. | Consumos | Preço unit. (R\$) | Preço total (R\$) |
|---------------------------------|----------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|
| Servente | h | 0,20 | 7,62 | 1,52 |
| Emulsão hidroasfáltica | kg | 0,80 | 7,26 | 5,81 |
| Poliestireno expandido em placa | m ² | 1,05 | 8,80 | 9,24 |
| | | | Total (R\$) | 16,57 |

(fonte: elaborado pelo autor)

Considerações sobre o conteúdo do serviço são descritas na TCPO (TABELAS..., 2008, p. 247), “Considera material e mão-de-obra para corte, colocação das placas e aplicação de adesivo hidroasfáltico sobre as placas.”.

O dimensionamento da estrutura de madeira foi realizado pela (TABELAS..., 2008, p. 235). A tabela 2 fornece a composição necessária para execução do madeiramento e custos do telhado de fibrocimento por m².

Tabela 2 – Estrutura de madeira para telha ondulada de fibrocimento ancorada em laje

| Componentes | unid. | Consumos | Preço unit. (R\$) | Preço total (R\$) |
|-----------------------------------|----------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|
| Ajudante de carpinteiro | h | 0,90 | 8,25 | 7,43 |
| Carpinteiro | h | 0,90 | 10,52 | 9,47 |
| Prego 18x27 com cabeça | kg | 0,12 | 7,73 | 0,93 |
| Madeira (tipo de madeira: peroba) | m ³ | 0,0102 | 2.060,73 | 21,02 |
| | | | Total (R\$) | 38,84 |

(fonte: elaborado pelo autor)

Considerações da TCPO (TABELAS..., 2008, p. 235), quanto ao conteúdo do serviço:

- a) considera cortes, montagem, contraventamentos, fixação de tesouras, terças, caibros, pontaletes e ripas;
- b) a madeira utilizada é peroba aparelhada ou outra de qualidade equivalente;
- c) considera que as madeiras são adquiridas nas bitolas comerciais, não incluindo serviço de serraria;
- d) dimensões comerciais das peças (seção transversal):
 - vigas: 6 x 12 cm e 6 x 16 cm.
 - caibros: 5 x 6 cm.
 - ripas 1 x 5 cm.
 - pranchas 5 x 30 cm.
 - colunas 15 x 15 cm e 30 x 30 cm.
 - pontalete 7,5 x 7,5 cm.
- e) comprimento: de 2,0 a 6,0 m variando de 0,5 em 0,5 m;
- f) foi adotado para fins de orçamento, um tipo de prego mais representativo, embora sejam utilizados várias bitolas de pregos.

Para a instalação das telhas (TABELAS..., 2008, p. 249), a tabela 3 fornece a composição necessária para realização deste serviço por m².

Tabela 3 – Cobertura com telha de fibrocimento perfil ondulado espessura 6 mm inclinação 27%

| Componentes | unid. | Consumos | Preço unit. (R\$) | Preço total (R\$) |
|--|----------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|
| Ajudante de telhadista | h | 0,22 | 8,25 | 1,82 |
| Telhadista | h | 0,22 | 10,52 | 2,31 |
| Parafuso com rosca soberba galvanizado | unid. | 1,42 | 0,45 | 0,64 |
| Telha de fibrocimento - tipo ondulada 6 mm | m ² | 1,15 | 15,61 | 17,95 |
| Conjunto vedação elástica | unid. | 1,42 | 0,10 | 0,14 |
| | | | Total (R\$) | 22,86 |

(fonte: elaborado pelo autor)

Considerações da TCPO (TABELAS..., 2008, p. 249), quanto ao conteúdo do serviço:

- a) consideram-se material e mão-de-obra para colocação, corte e fixação de telhas de fibrocimento ondulada;
- b) não inclusos os serviços de transporte do material e madeiramento;
- c) peso médio: 18 kgf/m²;
- d) o consumo de telhas calculado foi para um telhado com inclinação de 27%, comprimento da telha de 2,13 m e recobrimento longitudinal de 14 cm. Se a inclinação de projeto for diferente da adotada, utilizar um consumo de 1,108 m²/m² multiplicado pelo fator de correção da tabela prática, conforme inclinação correspondente.

As cumeeiras foram calculadas utilizando a composição (TABELAS..., 2008, p. 254), este serviço é medido em metro linear de cumeeira, e apresentada na tabela 4.

Tabela 4 – Cumeeira normal de fibrocimento para telha perfil ondulado espessura 6 mm

| Componentes | unid. | Consumos | Preço unit. (R\$) | Preço total (R\$) |
|--|--------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|
| Ajudante de telhadista | h | 0,12 | 8,25 | 0,99 |
| Telhadista | h | 0,12 | 10,52 | 1,26 |
| Parafuso com rosca soberba galvanizado | unid. | 4,00 | 0,45 | 1,80 |
| Cumeeira para telha de fibrocimento | m | 1,04 | 30,02 | 31,22 |
| Conjunto vedação elástica | unid. | 4,00 | 0,10 | 0,40 |
| | | | Total (R\$) | 35,67 |

(fonte: elaborado pelo autor)

Após analisados os serviços necessários para execução do telhado de fibrocimento, calcula-se os valores do custo total e os prazos para realização dos 50 m² da cobertura e 10 m de cumeeira. O custo total foi calculado em R\$ 4.270,43 (quatro mil duzentos e setenta reais com

quarenta e três centavos) e o prazo de execução total de 67 horas. Na tabela 5 são detalhados os resultados calculados.

Tabela 5 – Resultados calculados para custos e prazos de execução do telhado de fibrocimento

| Serviço | Unid | Custo unit. (R\$) | Prazo unit. (h) | Custo Total (R\$) | Prazo total (h) |
|------------------|----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| Isolante térmico | m ² | 16,57 | 0,20 | 828,60 | 10 |
| Madeiramento | m ² | 38,84 | 0,90 | 1.942,00 | 45 |
| Cobertura | m ² | 22,86 | 0,22 | 1.143,10 | 11 |
| Cumeeira | ml | 35,67 | 0,12 | 356,73 | 1,20 |
| | | | Total | 4.270,43 | 67,20 |

(fonte: elaborado pelo autor)

5.1.2 Telhados cerâmicos com telhas tipo francesa

Para realização do estudo dos custos e prazos de execução das coberturas que utilizam telha cerâmica tipo francesa, se adotou a mesma bibliografia e critérios de dimensionamento do telhado de fibrocimento. A isolamento térmica é a mesma utilizada para o cálculo do telhado de fibrocimento por apresentarem praticamente o mesmo comportamento térmico e valores para a transmitância térmica.

No cálculo do dimensionamento do madeiramento foi utilizada a composição da (TABELAS..., 2008, p. 234), é apresentada pela tabela 6. O conteúdo do serviço é o mesmo visto no telhado de fibrocimento.

Tabela 6 – Estrutura de madeira para telha cerâmica ancorada em laje

| Composição | unid. | Consumos | Preço unit. (R\$) | Preço total (R\$) |
|-----------------------------------|----------------|----------|--------------------|-------------------|
| Ajudante de carpinteiro | h | 1,20 | 8,25 | 9,90 |
| Carpinteiro | h | 1,20 | 10,52 | 12,62 |
| Prego 18x27 com cabeça | kg | 0,24 | 7,73 | 1,86 |
| Madeira (tipo de madeira: peroba) | m ³ | 0,021 | 2.060,73 | 43,28 |
| | | | Total (R\$) | 67,65 |

(fonte: elaborado pelo autor)

A cobertura com telhas cerâmicas teve o dimensionamento pela composição da (TABELAS..., 2008, p. 248), a tabela 7 identifica os prazos e custos de execução por m² de cobertura.

Tabela 7 – Cobertura com telha cerâmica inclinação 35%

| Composição | unid. | Consumos | Preço unit. (R\$) | Preço total (R\$) |
|-------------------------|--------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|
| Ajudante de telhadista | h | 1,00 | 8,25 | 8,25 |
| Telhadista | h | 0,50 | 10,52 | 5,26 |
| Telha cerâmica francesa | unid. | 17,00 | 1,35 | 22,95 |
| | | | Total (R\$) | 36,46 |

(fonte: elaborado pelo autor)

Considerações da TCPO (TABELAS..., 2008, p. 248), quanto ao conteúdo do serviço para execução da cobertura com telha cerâmica:

- a) consideram-se material e mão-de-obra para colocação das telhas;
- b) não inclusos os serviços de transporte do material e madeiramento;
- c) o peso aproximado de cada peça é de 2,7 kg;
- d) o consumo de telhas calculado foi para um telhado com inclinação de 35%. Se a inclinação de projeto for diferente da adotada, utilizar um consumo de 16 un/m², multiplicado pelo fator de correção da tabela prática, conforme inclinação correspondente.

Considerações da TCPO (TABELAS..., 2008, p. 248), quanto ao procedimento executivo:

- a) a colocação das telhas deve ser feita por fiadas, iniciando-se pelo beiral e prosseguindo-se em direção à cumeeira;
- b) as telhas da fiada seguinte são colocadas de forma a se encaixarem perfeitamente naquelas da fiada anterior;
- c) Posicionar simultaneamente as telhas em todas as águas do telhado, para que seu peso seja distribuído uniformemente sobre a estrutura de madeira.

O dimensionamento das cumeeiras foi realizado pela composição da (TABELAS..., 2008, p. 255), a tabela 8 apresenta o custo total para execução por metro linear de cumeeira.

Tabela 8 – Emboçamento de cumeeira para telha cerâmica com argamassa de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar

| Composição | unid. | Consumos | Preço unit. (R\$) | Preço total (R\$) |
|------------------------------|--------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|
| Pedreiro | h | 0,50 | 10,52 | 5,26 |
| Servente | h | 0,52 | 7,62 | 3,96 |
| Areia lavada tipo média | m³ | 0,0025 | 65,50 | 0,16 |
| Cal hidratada CH III | kg | 0,324 | 0,50 | 0,16 |
| Cimento Portland CP II-E-32 | kg | 0,324 | 0,46 | 0,15 |
| Cumeeira para telha cerâmica | unid. | 3,00 | 2,24 | 6,72 |
| | | | Total (R\$) | 16,42 |

(fonte: elaborado pelo autor)

Considerações da TCPO (TABELAS..., 2008, p. 255), quanto ao conteúdo do serviço para execução da cumeeira do telhado cerâmico:

- a) considera material e mão-de-obra para preparo da argamassa, colocação e emboçamento das cumeeiras cerâmicas;
- b) peso aproximado das cumeeiras 2,5 kg/un.

Com todos os serviços analisados, calcula-se o prazo e custo total para execução do telhado cerâmico do tipo francesa, assim como no telhado de fibrocimento, os mesmos 50 m² de cobertura e 10 metros lineares de cumeeiras foram considerados no cálculo. Na tabela 9 são detalhados os resultados calculados. O custo total ficou calculado em R\$ 6.198,50 (seis mil cento e noventa e oito reais com cinquenta centavos) e o prazo de execução total de 125 horas.

Tabela 9 – Resultados calculados para custos e prazos de execução do telhado cerâmico tipo francesa

| Serviço | Unid | Custo unit. (R\$) | Prazo unit. (h) | Custo Total (R\$) | Prazo total (h) |
|------------------|-------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|
| Isolante térmico | m² | 16,57 | 0,20 | 828,60 | 10 |
| Madeiramento | m² | 67,65 | 1,20 | 3.382,73 | 60 |
| Cobertura | m² | 36,46 | 1,00 | 1.823,00 | 50 |
| Cumeeira | ml | 16,42 | 0,52 | 164,17 | 5,20 |
| | | | Total | 6.198,50 | 125,20 |

(fonte: elaborado pelo autor)

5.1.3 Telhado verde

A caracterização dos custos e prazos de execução do telhado verde foi realizada através de contato com uma empresa do ramo e que atuasse no estado do Rio Grande do Sul. A Empresa escolhida tem obras realizadas em diversas cidades do Brasil. Foi solicitado orçamento para cobertura de 50 m² de uma superfície plana.

O orçamento fornecido pela empresa é referente ao material necessário para execução do serviço, não incluso impermeabilização da laje e a mão de obra para instalação, necessitando estes serviços serem terceirizados, a descrição do material constante do orçamento da empresa está na tabela 10.

Tabela 10 – Descrição dos materiais necessários para cobrir a área de 50 m²

| Descrição | Quantidade | Unidade |
|--|------------|----------------|
| Módulo Alveolar 1,4 x 1,15 x 0,015 metros (1,61m ²) | 37 | pç |
| Memb. absorção Ecotelhado - FAG14RS4CM-4,0MM (45x2m) (0,48KG/M ²) | 53 | m ² |
| Grelha de Pavimento natural com suporte de bidim | 271 | pç |
| Composto de Substrato leve (sacos de 36l - 25kg) | 1800 | Lts |
| Membrana Fibra PC (pelego branco Vegetado - Peça de 0,75x2,20 =1,65 m ²) | 53 | m ² |
| Gel (Forth Gel) (emb balde de 12 kg) | 1 | kg |

(fonte: empresa estudada)

Características do sistema alveolar fornecido pela empresa estudada:

Carga do sistema já saturado de água:

(a) sistema com carga de 40 a 80 kg/m² (quando utilização de gramíneas de forração);

Membrana Ecotelhado de proteção anti-raízes:

(b) aparência da membrana: membrana flexível, cor preta;

(c) composição da membrana: membrana de polietileno de alta densidade;

(d) dimensão da membrana: fornecida em rolos de largura de 400 cm;

(e) finalidade da membrana: proteção extra antiraízes;

Membrana Alveolar Ecotelhado:

(a) aparência da membrana: membrana semiflexível, preta, fornecida em placas, possui reservatórios de formato hexagonal;

(b) Composição da membrana: material plástico reciclado (95%).

A vegetação utilizada para o orçamento é a grama do tipo Esmeralda com 5 cm de substrato como detalhado na proposta da empresa estudada:

A carga exercida pelo sistema alveolar leve com grama Esmeralda com 5 cm de substrato é, em média, 80,00 kg/m² (considerando o sistema já saturado de água e, posteriormente, vegetado).

É importante ressaltar que essa estimativa de peso pode variar conforme o tipo de vegetação escolhida ou pela quantidade de substrato ou volume de água (Sistema Laminar) em cada caso.

Deverá ser observado se a laje ou cobertura estão dimensionadas para a sobrecarga, assim como o seu teste de estanqueidade.

O valor do serviço de impermeabilização da laje foi realizado através do TCPO com valores de insumos da tabela de insumos da CEF. Foi utilizada a (TABELAS..., 2008, p. 242), a tabela 11 são detalhados os componentes para execução do serviço por m².

Tabela 11 – Composição para impermeabilização de cobertura plana, utilizando manta asfáltica polimérica

| Composição | unid. | Consumos | Preço unit. (R\$) | Preço total (R\$) |
|---|----------------|----------|--------------------|-------------------|
| Ajudante | h | 0,60 | 7,62 | 4,57 |
| Aplicador de impermeabilização | h | 0,30 | 10,52 | 3,16 |
| Tinta betuminosa | l | 0,40 | 8,00 | 3,20 |
| Manta asfáltica polimérica espessura 4 mm | m ² | 1,15 | 29,41 | 33,82 |
| | | | Total (R\$) | 44,75 |

(fonte: elaborado pelo autor)

O valor da mão de obra para instalação do telhado verde foi realizado através de empresa terceirizada. O valor total do custo e prazo de execução do telhado verde foi calculado em R\$ 7.731,89 (sete mil setecentos e trinta e um reais com oitenta e nove centavos), e o prazo de execução total em 54 horas, esta apresentado na tabela 12.

Tabela 12 – Resultados calculados para custos e prazos de execução do telhado verde

| Serviço | Unid | Custo unit. (R\$) | Prazo unit. (h) | Custo Total (R\$) | Prazo total (h) |
|-------------------|----------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|
| Impermeabilização | m ² | 44,75 | 0,60 | 2.237,50 | 30 |
| Sistema Alveolar | m ² | - | - | 3.994,39 | - |
| Instalação | m ² | - | - | 1.500,00 | 24 |
| Total | | | | 7.731,89 | 54 |

(fonte: elaborado pelo autor)

5.2 ANÁLISES DOS RESULTADOS

Com os três telhados calculados seus custos e prazos de execução, teve uma análise dos resultados obtidos. Estão apresentados na tabela 13, foi estabelecida como critério a comparação percentual tendo como referência o telhado verde.

Tabela 13 – Comparação dos custos e prazos de execução dos três telhados

| Cobertura | Custo Total (R\$) | Percentual (%) | Prazo total (h) | Percentual (%) |
|--------------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Telhado de fibrocimento | 4.270,43 | 55,23 | 67,20 | 124,44 |
| Telhado cerâmico tipo francesa | 6.198,50 | 80,17 | 125,20 | 231,85 |
| Telhado verde | 7.731,89 | 100,00 | 54,00 | 100,00 |

(fonte: elaborado pelo autor)

Os resultados mostram, como esperado, que o valor de execução do telhado verde é o mais elevado, mas o prazo mais elevado de execução é o do telhado cerâmico com telha tipo francesa, sendo 2,31 vezes mais demorado em comparação com o telhado verde. Isto se deve a maior complexidade da execução do madeiramento necessário para sua cobertura.

Quanto aos custos, o telhado de fibrocimento apresenta o menor custo para execução da cobertura proposta, sendo o telhado verde 81,06% mais elevado seu custo. O telhado verde apresentou um custo de 24,74% maior em relação ao telhado cerâmico tipo francesa.

6 VANTAGENS E BENEFÍCIOS DOS TELHADOS VERDES

Telhados verdes apresentam características e propriedades que vem sendo estudadas, como desempenho térmico e volume de escoamento da água pluvial. A seguir serão apresentados alguns destes estudos e pesquisas.

Estudos estão sendo realizados para verificação da eficácia do telhado verde no desempenho térmico, alguns destacados por Pouey et al. (1998, p. 474):

Dentre os trabalhos experimentais sobre o tema cabe destacar os seguintes: Hoyano⁶ (1984) desenvolveu um experimento, no qual foi avaliado o efeito, no ambiente interno, causado pelo uso de vegetação na cobertura da construção. Para tanto, monitorou 3 bancadas, com coberturas distintas, ou seja: vegetação rasteira, vegetação densa e solo nu. Posteriormente, Hoyano⁷ (1988) estudou o efeito de vegetação, em ambientes abertos, como a barreira de sombreamento de paredes e como cobertura aderente à parede. Wilmers⁸ (1991) avaliou o efeito de cobertura com vegetação no clima urbano e em edificações. Harazono⁹ et al. (1991) estudaram o efeito de cobertura com vegetação e substrato artificial no clima urbano e na carga térmica de construções.

Um trabalho de comparação do desempenho térmico da cobertura verde com a de cobertura plana do tipo terraço foi realizado por Pouey et al. (1998, p. 475), como descreve a seguir:

As lajes receberam os serviços de impermeabilização com manta asfáltica e respectiva camada de proteção mecânica. Na laje destinada à cobertura verde, foi colocada, adicionalmente, uma camada de brita, com 7 cm de espessura, com função drenante; sobre ela, foram dispostos: manta geotêxtil, solo vegetal e grama em leiva. Nesta laje foi previsto e executado um sistema de drenagem para as águas das chuvas e irrigação.

Na laje destinada ao terraço, foi colocado o isolamento térmico, que constitui-se de placas moldadas de poliestireno expandido de alta densidade

⁶ HOYANO, A. Effect of Rooftop Turf-planting Layers upon Building Thermal Environment. **Memoirs of the Engineering Kyushu University**, v. 44, n. 2. p. 135-148, June 1984.

⁷ HOYANO, A. Climatological Uses of Plants for Solar Control and the effects on the Thermal Environment of a Building. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 11, p. 181-199, 1988.

⁸ WILMERS, F. Effects of Vegetation on Urban Climate and Buildings. **Energy and Buildings**, v. 15, n. 3-4 p. 507-514. 1990/1991.

⁹ HORAZONO, Y., TERAOKA, S., NAKASE, I. et al. Effects of Rooftop Vegetation using Artificial Substrates on the Urban Climate and the thermal Load of Buildings. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 15, n. 3-4, p. 435-442, 1990/1991.

(Isofoam) com 25 mm de espessura e, posteriormente, foi assentado o piso de lajotas cerâmicas de 20x20 cm, com caimento de 2%. O emprego de um bom isolante térmico nesta laje, teve como objetivo, garantir que o elemento de comparação fosse de boa qualidade.

Foram realizadas medições por determinado período e com certa frequência, como explicam Pouey et al. (1998, p. 476), “As medições ocorreram nos meses de janeiro, março, maio e junho de 1996. O sistema de aquisição e registro de dados foi programado para realizar leituras, a cada 30 minutos, 24 horas por dia.”.

Como resultados obtidos pelo experimento de Pouey et al. (1998, p. 478) tem-se:

A máxima oscilação diária de temperatura superficial externa ocorreu, na cobertura com terraço, no verão, e atingiu 28,9°C. Já, na cobertura verde, esta variação foi de 14,4°C, também no verão. No inverno, as variações diárias máximas foram de 24,4°C, no terraço e 10,8°C, na camada vegetada.

Por outro lado a temperatura superficial interna sofre pequenas variações diárias, atingindo, no verão uma amplitude de até 4,2°C, na cobertura verde e 4,9°C, no terraço. No inverno, as maiores oscilações diárias são, respectivamente 1,3°C e 2,0°C.

Em ambos períodos, o amortecimento térmico é maior no terraço. A diferença entre os valores máximos das temperaturas superficiais externas e internas atinge; no verão, até 20,2°C no terraço e 9,9°C; na cobertura verde; já no inverno, os valores máximos são respectivamente, 13,6°C e 7,4°C. Os gráficos mostram que o retardo térmico, na cobertura verde é maior que no terraço, embora a diferença não seja muito grande. Na cobertura verde, o retardo térmico, no verão, varia de 6,5 à 9,5 horas e, no inverno, de 4 à 8,5 horas; enquanto, no terraço, varia de 5,5 à 7,5 horas, no verão e de 3,5 à 6,5 horas no inverno.

Em pose destes dados, pode-se verificar uma melhor resposta da cobertura verde quanto a oscilação de temperatura, tanto no inverno quanto no verão em relação a temperatura externa em comparação com o terraço, Pouey et al. (1998, p. 480) salientam:

A temperatura do ar externo sofreu variações diárias de até 12,4°C, no verão e de até 18,4°C, no inverno. Porém, internamente as variações foram muito menores. A temperatura interna da câmara da cobertura com vegetação, no verão, manteve-se sempre inferior à temperatura da outra cobertura com vegetação, no verão, manteve-se sempre inferior à temperatura da outra cobertura, sendo que nos dias de maior variação externa, a diferença entre elas também foi maior (em torno de 1,2°C), tornando-se mínima (em torno de 0,5°C), quando a variação da temperatura externa foi menor e associada a uma baixa radiação global diária. No inverno, a temperatura interna referente à cobertura verde manteve-se, na maior parte do tempo, também inferior à

temperatura do terraço, porém, nos dias em que a temperatura externa diminui, atingindo valores mínimos, a temperatura da cobertura verde passa a ser superior ou igual a do terraço.

Como conclusão do experimento, verifica-se, também, que além de uma melhor resposta da cobertura verde para variação da temperatura em ambos os períodos estudados, há um acréscimo da durabilidade da edificação, pois a vida útil dos materiais empregados nas edificações está relacionada diretamente ao gradiente térmico do meio em que estão submetidos. Com isto, além de conforto térmico, a cobertura verde torna-se também uma alternativa para preservação da edificação, como afirmam Pouey et al. (1998, p. 480):

A cobertura verde apresentou melhor resposta em ambos períodos estudados, pois em termos de temperatura superficiais, a externa registra menor amplitude de variação, tanto no inverno quanto no verão e a interna, é menor no verão e praticamente igual à do terraço, no inverno. Quanto à temperatura do ar interno, o da cobertura verde, no verão, é sempre menor e, no inverno, em dias de frio mais intenso, ela se torna superior ou igual à temperatura interna do terraço.

A vida útil do material empregado na impermeabilização está diretamente ligada ao gradiente térmico a que este está submetido; da mesma forma, a variação térmica nas lajes de cobertura é a principal causa de patologias. Assim, a presença de isolamento térmico é de fundamental importância nas lajes de cobertura. As próprias camadas constituintes da cobertura verde exercem este papel, minimizando as variações térmicas tanto na impermeabilização como na laje. Em terraços, como as temperaturas superficiais externas são bem mais elevadas, é imprescindível o uso de isolamento térmico.

A cobertura verde é, pois, uma alternativa para coberturas planas, podendo proporcionar um espaço de lazer e contemplação diferenciado, além de garantir um bom isolamento térmico.

O desempenho térmico do telhado verde é tema de estudo em diversas instituições no Brasil, Beyer (2006, p. 1) realizou um relatório técnico onde foram feitas medições de temperatura em duas caixas montadas com telhado inclinado, construídas com telhas de cimento amianto, e uma delas com a adição de cobertura verde, a figura 2 apresenta o experimento.

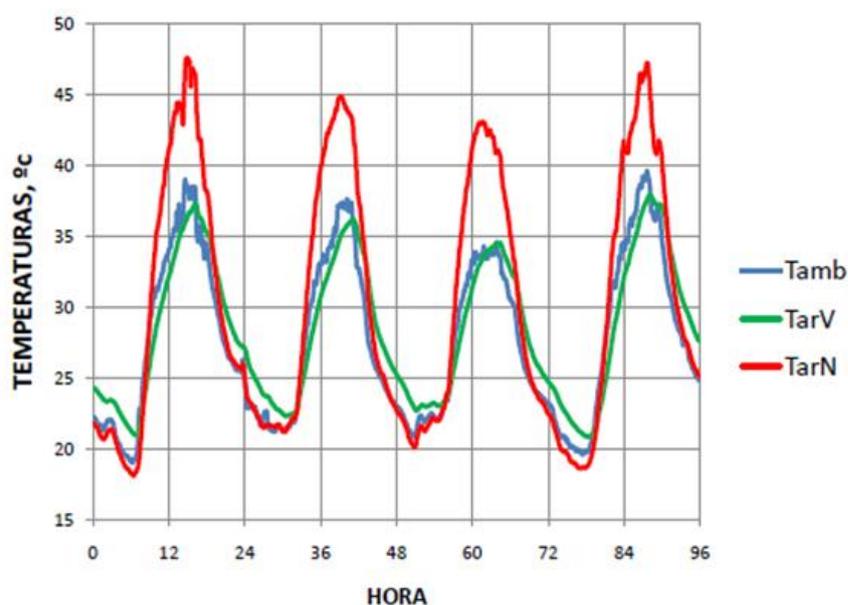
Figura 2 – Experimento para medição do desempenho térmico do telhado verde



(fonte: BEYER, 2006, p. 1)

Foram instalados três sensores de temperatura, dois na parte interna, um suspenso no meio da caixa para medir a temperatura do ar e, outro preso junto à superfície interna da telha, um terceiro sensor mediu a temperatura externa. As medições foram realizadas em quatro dias no mês de dezembro. A figura 3 apresenta os resultados obtidos para medição da temperatura do ar.

Figura 3 – Evolução das temperaturas externa e interna do ar

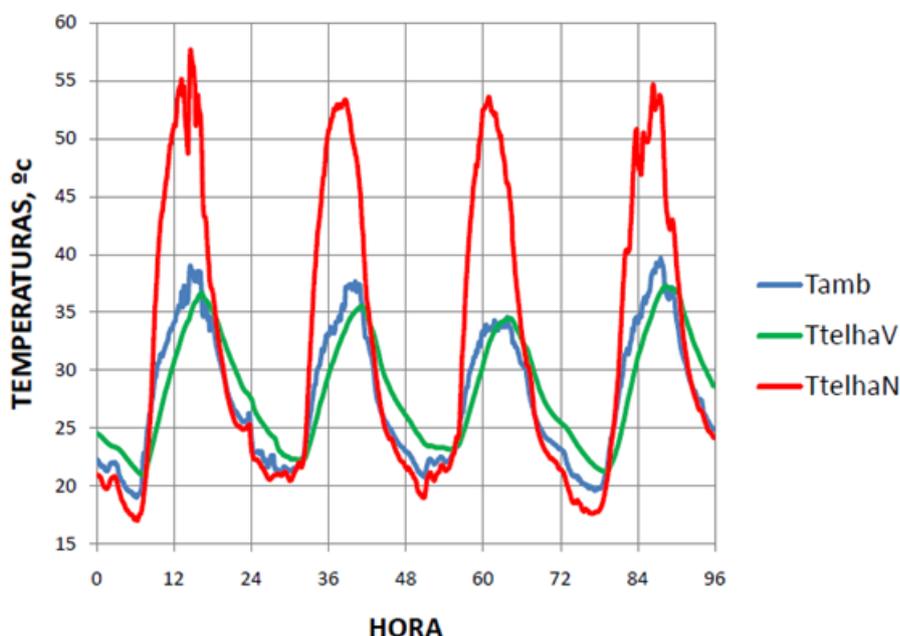


(fonte: BEYER, 2006, p. 3)

O telhado com cobertura de cimento amianto é representada pela cor vermelha, a cor verde é referente ao telhado com adição de cobertura verde, e em azul a temperatura externa. Pode ser observada uma diferença significativa de temperatura, sendo maior que 10°C no instante mais quente do dia. Para os instantes mais frios do dia o telhado com cobertura verde apresentou temperatura levemente superior a externa.

Esta diferença ficou mais significativa quando analisados os resultados coletados dos sensores fixados nas telhas, representado na figura 4.

Figura 4 – Evolução das temperaturas interna preso junto à superfície da telha e externa das caixas



(fonte: BEYER, 2006, p. 4)

Os resultados observados na figura 4 são mais expressivos para o comportamento térmico do telhado verde, as temperaturas máximas registradas para o telhado contendo apenas a telha de cimento amianto mostram serem superiores em torno de 20°C em comparação com a cobertura contendo o telhado verde. Enquanto que nos instantes mais frios do dia, a cobertura com telhado verde registra uma temperatura mais elevada.

Outro estudo realizado para medir o comportamento térmico do telhado verde foi realizado por Pissetti Neto (2009), porém em ambiente controlado. Foram construídas três células-testes, constituídos por telhado de fibrocimento, tetra pak e telhado verde. Os testes foram realizados em local isolado como descreve Pissetti Neto (2009, p. 27):

Esse local foi escolhido por isolar completamente o meio interno do externo, evitando a penetração de luz natural, além de oferecer mais segurança para permanência e manuseio dos equipamentos. Para simular a movimentação natural do ar em ambiente aberto, um circulador de ar foi colocado atrás da célula teste, sendo registrado uma velocidade de aproximadamente 0,18m/s a 1m do mesmo.

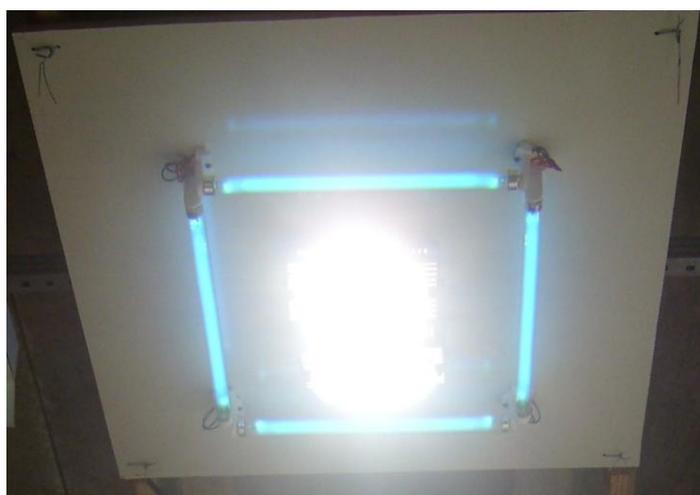
Foi utilizado um sistema de iluminação artificial como fonte de calor, adotaram-se duas lâmpadas halógenas de 1000 W cada e quatro fluorescentes de 15 W cada. Demonstrada na figura 5, e a figura 6 apresenta o sistema ligado.

Figura 5 – Sistema de iluminação desativado



(fonte: PISSETTI NETO, 2009, p. 32)

Figura 6 – Sistema de iluminação ativado



(fonte: PISSETTI NETO, 2009, p. 32)

As medições foram realizadas em três dias, Pissetti Neto (2009, p. 27) comenta “[...] em intervalos de 10 minutos, durante um período de 360 minutos, sendo destes, 180 minutos com o sistema de iluminação ativado (ligado), e os outros 180 minutos com o sistema de iluminação desativado (desligado)”. A figura 7 apresenta a célula-teste composta por telhado verde.

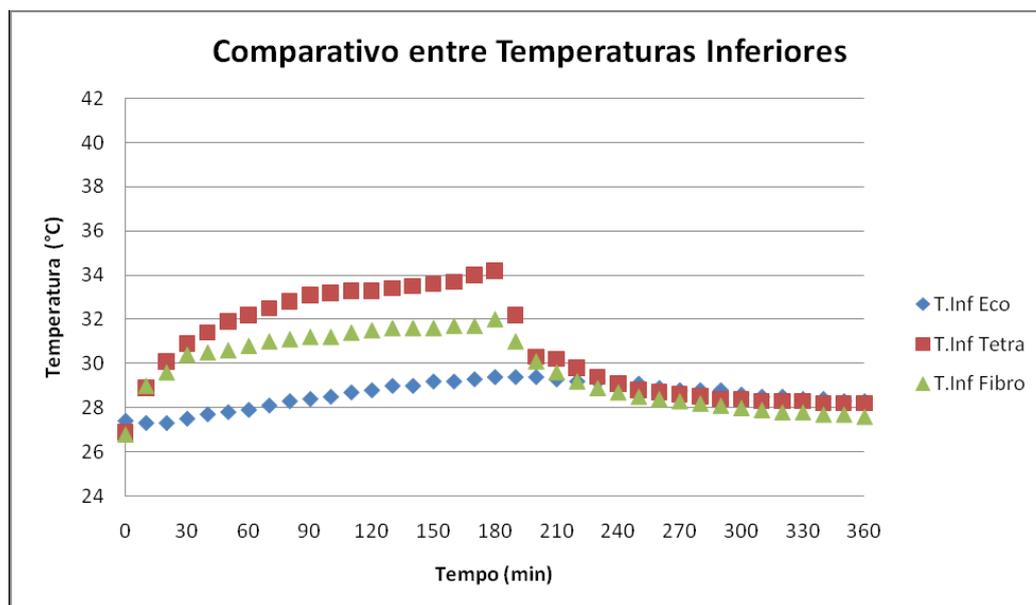
Figura 7 – Célula-teste com telhado verde



(fonte: PISSETTI NETO, 2009, p. 30)

Os resultados podem ser observados na figura 8, como pode ser visto a temperatura interna do telhado verde apresentou uma menor amplitude térmica, ficando a máxima registrada em torno de 4°C menor que a do telhado de tetra pak.

Figura 8 – Diagrama comparativo entre as temperaturas inferiores para os telhados de fibrocimento, tetra pak e telhado verde



(fonte: PISSETTI NETO, 2009, p. 44)

Como conclusão dos experimentos, observou-se um melhor comportamento térmico do telhado verde em comparação aos outros dois telhados, Pissetti Neto (2009, p. 51) salienta:

Com relação ao objetivo geral, que consiste na avaliação do desempenho térmico dos três tipos de telhados, podemos perceber a partir dos gráficos que o telhado verde apresentou uma maior inércia térmica, menor transmitância e, conseqüentemente um maior atraso térmico em relação aos demais. O telhado de tetra pak e o de fibrocimento apresentaram desempenhos semelhantes, não sendo possível indicar alguma vantagem específica de um em relação ao outro.

Um estudo realizado no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) por Castro e Goldenfum (2010) com o objetivo de analisar a eficiência do telhado verde no controle quantitativo do escoamento superficial urbano. Constatou-se que os telhados verdes são aplicados ainda para controle de escoamento superficial urbano da água das chuvas e, quando submetidos para esta finalidade, correspondem de forma muito positiva, pois a vegetação dos telhados juntamente com seu substrato, tem a propriedade de retenção de água.

Telhados verdes são utilizados para diminuição do escoamento da água pluvial em países da Europa e nos Estados Unidos, mas para o Brasil ainda não se tinha um estudo de comportamento para este propósito como afirmam Castro e Goldenfum (2010, p. 76):

Este tipo de tecnologia está sendo usado em diversos países na Europa e Estados Unidos, onde é adotado não só em empreendimentos residenciais como também comerciais e industriais. Vários autores internacionais, Mentens¹⁰ et al. (2006), Connelly e Liu¹¹ (2005), Van Woert¹² et al. (2005), Villarreal e Bergtsson¹³ (2005), Moran¹⁴ (2004); Simmons¹⁵ et al. (2008) citam o uso de telhados verdes no controle do escoamento superficial.

Mas, pouco se conhece sobre o efeito dos telhados verdes sobre o escoamento pluvial no Brasil. Sendo assim, é de extrema importância o estudo para verificar a aplicabilidade e os efeitos dessas estruturas no escoamento superficial urbano.

O estudo faz uma comparação do volume de escoamento da água pluvial, em diferentes tipos de coberturas, para fazer uma avaliação dos efeitos que cada uma destas coberturas representa na rede pública pluvial. Os primeiros resultados para os eventos estudados apontam uma melhor distribuição nas coberturas que utilizam telhado verde, como mencionam Castro e Goldenfum (2010, p. 75):

Os resultados preliminares mostram que para os eventos estudados, os telhados verdes conseguiram reduzir o escoamento superficial em 50% para o telhado e em 100% no terraço, para as primeiras três horas após o início da chuva. Após seis horas após o início da chuva, a eliminação do escoamento superficial ocorre em 50% dos eventos no telhado e de 63% no terraço. Passando 12 horas do início da chuva, a cobertura verde continua restando o escoamento superficial, sendo os valores de 25% no caso do telhado e 63% no terraço.

Os dados preliminares indicam que os usos de coberturas vegetais podem proporcionar uma melhor distribuição do escoamento superficial, diminuição da velocidade de liberação do excesso de água e redução nos volumes escoados.

¹⁰ MENTENS, J.; RAES, D.; HERMY, M. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21 st century? **Landscape and Urban Planning**. Amsterdam, v. 77, p. 217-226, 2006.

¹¹ CONNELLY, M.; LIU, K. Green roof research in british Columbia: an overview. In: **Greening rooftops for sustainable communities**, Washington, DC, p. 1-17, 2005.

¹² VAN WOERT, N. D.; ROWE, D. B.; ANDRESEN, J. A.; RUGH, C. L.; FERNANDEZ, R. T.; XIAO, L. Green Roof Stormwater Retention: Effects of Roof Surface, Slope, and Media Depth. **Journal of Environmental Quality**. v. 34, p. 1036-1044, 2005.

¹³ VILLAREAL, E. L.; BENGTTSSON, L. Response of a *sedum* greenroof to individual rain events. **Ecological Engineering**. v. 25, p. 1-7, 2005.

¹⁴ MORAN, A. C. **A North Carolina field study to evaluate greenroof runoff quantity, runoff quality, and plant growth**. 2004. 300 f. Dissertation (Master in Biological Agricultural Engineering) – Graduate Faculty of North Carolina State University, Raleigh, 2004.

¹⁵ SIMMONS, M. T.; GARDINER, B.; WINDHAGER, S.; TINSLEY, J. Green roofs are not created equal: the hydrologic and thermal performance of six different extensive green roofs and reflective and not-reflective roofs in a subtropical climate. **Urban Ecosystems**, Austin, Texas, USA, v. 11, p. 339-348, 2008.

No decorrer do estudo Castro e Goldenfum (2010, p. 76) salientam que a urbanização desenfreada das cidades acaba diminuindo a vegetação, importante substrato natural no processo de drenagem, com isso tem-se a necessidade de criação de sistemas redes de drenagens artificiais, que muitas vezes são insuficientes para a demanda gerada pelo volume total da chuva, gerando alagamentos nas principais ruas e avenidas de nossa cidade.

Desta forma os telhados verdes surgem como importantes aliados para minimizar os hidrogramas de cheias. A água, que cairia sobre a vegetação seria absorvida por ela, e isso diminuiria o volume absorvido pelos sistemas artificiais. Além do exposto acima as coberturas verdes proporcionam conforto ambiental dentro das residências, um visual privilegiado na parte externa e auxiliam a manter a vida útil da edificação por um maior tempo.

Castro e Goldenfum (2010, p. 76-77) listam os itens que compõem o experimento:

Os módulos que constituem o experimento são:

- a) módulo horizontal com telhado verde (terraço);
- b) módulo horizontal sem telhado verde (terraço);
- c) módulo com declividade de 15° (graus) com presença de telhado verde (telhado);
- d) módulo sem declividade de 15° (graus) com presença de telhado verde (telhado).

Neste experimento um módulo de telhado e um terraço são constituídos por ecotelhas. Além das ecotelhas, o módulo do telhado verde é composto por duas membranas, uma para retenção de água e nutrientes e outra antirraízes. A membrana para a retenção de raízes é colocada abaixo da membrana de retenção de água e nutrientes.

Para Castro e Goldenfum (2010, p. 77), a escolha pelo telhado verde é devido a sua formação, substrato rígido, substrato leve e as plantas, agregando assim nutrientes essenciais para retenção de água e drenagem do excedente. Para cada módulo existiram dois reservatórios de coleta de água com capacidade de 200 litros cada. Utilizaram ainda drenos ligados aos módulos e aos reservatórios. A água coletada, com auxílio da gravidade, conseqüentemente vai para o primeiro reservatório e, o segundo reservatório, serviu para vertedouro caso o primeiro extravasasse. Com a montagem do experimento esperava-se fazer o balanço hídrico

de água das chuvas, comparando-se a água retida pelas plantas no lado que se usou o telhado verde com o lado que simulou um telhado convencional, gerando escoamento ao sistema público pluvial.

Após descreverem os materiais e métodos utilizados os autores iniciaram o experimento, quando foram analisados oito eventos de precipitações entre os meses de maio e setembro de 2008 em determinados intervalos de tempo, sempre comparando o escoamento de água das chuvas no telhado verde e no telhado convencional. A tabela 14 aponta os valores exatos coletados pelos autores do estudo.

Tabela 14 – Volumes escoados nos quatro módulos experimentais após 12 horas do início da precipitação

| Data do Evento | Intensidade da chuva para as primeiras 12h (mm/h) | Dias antecedentes sem chuva | Vol. Escoado (mm) após 12h (c/cobertura verde) | | Vol. Escoado (mm) após 12h (s/cobertura verde) | |
|----------------|---|-----------------------------|--|---------|--|---------|
| | | | Terraço | Telhado | Terraço | Telhado |
| 28/05/2008 | 4,19 | 14 | 4,61 | 27,16 | 31,52 | 32,33 |
| 07/06/2008 | 1,35 | 4 | 0 | 10,79 | 11,36 | 10,74 |
| 20/06/2008 | 0 (evento já finalizado) | 5 | 0 | 0 | 8,68 | 8,62 |
| 20/07/2008 | 0,74 | 11 | 0 | 0,57 | 6,28 | 6,79 |
| 27/07/2008 | 2,52 | 4 | 0 | 8,91 | 19,33 | 20,26 |
| 01/08/2008 | 0 (evento já finalizado) | 2 | 9,84 | 2,50 | 26,27 | 25,74 |
| 16/08/2008 | 0,74 | 3 | 0, | 0 | 6,39 | 6,46 |
| 05/09/2008 | 3,16 | 11 | 2,21 | 16,66 | 27,34 | 27,64 |

(fonte: CASTRO; GOLDDENFUM, 2010)

Analisados os dados, confirmam-se as vantagens do telhado verde para controle do escoamento da água pluvial, como concluem Castro e Goldenfum (2010, p. 80):

Os dados indicam que terraços e telhados com cobertura vegetal fazem um controle adequado do volume de escoamento superficial, mesmo passando 12 horas do início da chuva.

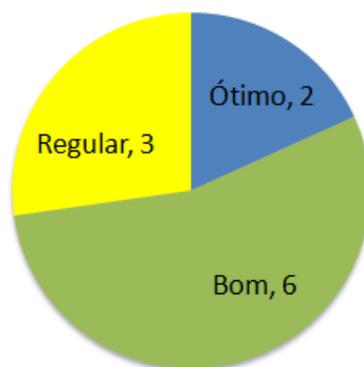
Os resultados sugerem um melhor desempenho hidrológico dos telhados em relação aos telhados na maioria dos eventos estudados. Isso indica que a inclinação do telhado pode ter influência nos volumes escoados.

Os dados preliminares indicam que o uso de coberturas vegetais pode proporcionar uma melhor distribuição do escoamento superficial ao longo do tempo através da diminuição da velocidade de liberação do excesso de água retido nos poros do substrato. Além disso, os dados demonstram uma redução no volume de água escoado, já que o telhado verde é composto por plantas que têm a capacidade de reter água.

Para os oitos eventos analisados, a intensidade da chuva parece ter maior influência nos volumes de escoamento superficial se comparados com os dias antecedentes sem chuva.

Uma pesquisa realizada por Kist (2011) sobre a satisfação na utilização do telhado verde em residências, a pesquisa foi em um condomínio horizontal unifamiliar na cidade de Porto Alegre. Foi realizada através de aplicação de um questionário contendo perguntas diversas sobre a edificação e o telhado verde. O resultado quanto questão de satisfação do uso do telhado verde é apresentado na figura 9.

Figura 9 – Nível de satisfação quanto ao uso da cobertura verde



(fonte: KIST, 2011, p. 60)

Como pode ser observado o telhado verde no condomínio teve uma satisfação considerada boa pela maioria dos seus moradores. Alguns moradores inclusive manifestaram que realizariam novamente o telhado verde em sua residência, como comenta Kist (2011, p. 60).

Dez entre os onze moradores recomendaria o uso de coberturas verdes como as presentes em sua edificação para outras pessoas. A última pergunta questionava se o morador conceberia novamente sua edificação com cobertura verde, nove dos entrevistados afirmaram que sim. Um dos moradores que afirmou em contrário fez a ressalva que aplicaria uma cobertura verde se esta fosse executada diferente da realizada inicialmente em sua edificação.

Dentre as principais vantagens e benefícios na construção do telhado verde são o conforto térmico e diminuição do escoamento da água pluvial das chuvas apresentados anteriormente. Mas ainda podemos salientar outros citados por diversos autores, como:

- a) isolamento acústico;

- b) estético;
- c) maior vida útil dos componentes da cobertura;
- d) manutenção da umidade relativa do entorno;
- e) diminuição dos efeitos da radiação solar;
- f) aumento da biodiversidade do local;
- g) combate ao efeito estufa;
- h) melhor qualidade do ar no entorno da edificação através da absorção de CO₂ pela vegetação;
- i) efeitos psicológicos positivos;
- j) possível utilização da cobertura como jardins ou canteiros;
- k) filtro natural da água coletada;
- l) diminuição das ilhas de calor.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O telhado verde estudado apresenta diversas vantagens em comparação aos que utilizam métodos convencionais de construção, sendo o seu maior custo de implantação um dos empecilhos para sua adoção pela sociedade.

Foi apresentada uma solução mais viável economicamente para realização do telhado verde, a composição do orçamento levou em consideração algumas alternativas. O sistema adotado foi o alveolar para cobertura de laje plana, a vegetação estudada foi a grama Esmeralda por ser considerada a que melhor se adaptaria ao projeto.

Mesmo assim o telhado verde apresentou um custo mais elevado em comparação com os que utilizam métodos convencionais de construção, mas o importante no momento de escolher a cobertura a ser utilizada é levar em consideração o custo x benefício. O telhado verde apresentou vantagens para a sociedade em pesquisas e estudos realizados em diversos setores, como no desempenho térmico e para amortecimento do volume de água das chuvas. Como a diferença dos custos de execução não foram significativos se justificaria a sua adoção pela sociedade para coberturas pelas diversas vantagens e benefícios apresentados.

Para trabalhos futuros sugere-se a realização de um estudo em longo prazo da economia de energia que a utilização do telhado verde proporciona, bem como realização do quantitativo do isolamento acústico da cobertura.

Incentivos do governo poderia ser uma solução para viabilizar a execução do telhado verde. Projetos de leis estão sendo analisados para que as edificações que possuam telhados verdes em sua estrutura tivessem descontos nos impostos. Outro fator que deve ser levado em consideração é a diminuição dos custos de construção pelo aumento da escala de produção das coberturas que utilizam telhado verde.

A sociedade tem que se conscientizar que precisa haver uma adaptação nas edificações das cidades, impactos ambientais negativos sobre as cidades estão ocorrendo devido ao seu crescimento desenfreado, como o aquecimento global e local, ilhas de calor, enchentes, etc. E medidas como a adoção do telhado verde pode vir a diminuir estes impactos.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, S. R. **As funções dos telhados verdes no meio urbano, na gestão e no planejamento de recursos hídricos**. 2007. 28 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Departamento de Engenharia Sanitária e Meio Ambiente, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.196**: folha de telha ondulada de fibrocimento – procedimento. Rio de Janeiro, 1983a.
- _____. **NBR 8.039**: projeto e execução de telhados com telhas cerâmicas tipo francesa – procedimento. Rio de Janeiro, 1983b.
- _____. **NBR 15.220-1**: desempenho térmico de edificações – parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2003a.
- _____. **NBR 15.220-2**: desempenho térmico de edificações – parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2003b.
- _____. **NBR 15.220-3**: desempenho térmico de edificações – parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003c.
- BEYER, P. O. **Relatório Técnico**: Medição do desempenho térmico de ecotelhas. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006. 4 f. Disponível em: <<http://www.ecotelhado.com.br/InformacoesInterna/Forms/AllItems.aspx>>. Acesso em: 14 de nov. 2013.
- CASTRO, A. S., GOLDENFUM, J. A. Uso de telhados verdes no controle quantitativo do escoamento superficial urbano. **Atitude**: Revista de divulgação científica da Faculdade Dom Bosco de Porto Alegre, Porto Alegre, n. 7, p. 75-81, jun. 2010.
- FURLAN, M. **Mudanças Climáticas e Valoração Econômica da Preservação Ambiental**: o pagamento por serviços ambientais e o princípio do protetor-recebedor. Curitiba: Juruá, 2010.
- HENEINE, M. C. A. S. **Cobertura Verde**. 2008. 49 f. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <<http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/Monografia%20Maria%20Cristina%20Almeida.pdf>>. Acesso em: 23 de jun. de 2012.
- KREBS, L. F. **Coberturas Vivas Extensivas**: análise da utilização em projetos na região metropolitana de Porto Alegre e Serra Gaúcha. 2005. 179 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrando Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- KIST, R. S. **Coberturas verdes sobre edificações**: avaliação da satisfação de moradores de um condomínio horizontal na cidade de Porto Alegre. 2011, 70 f. Trabalho de Diplomação

(Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

NAKAMURA, J. Coberturas Vivas: telhados verdes. **AU: arquitetura e urbanismo**, São Paulo, n. 212, p. 94-98, nov. 2011.

PISSETTI NETO, D. **Comparativo do Desempenho Térmico do Telhado de Fibrocimento com o de Tetra Pak e o Telhado Verde, em Ambiente Controlado**. 2009. 56 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Ambiental) – Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2009.

OLIVEIRA, I. S. D. de; MONTAÑO M.; SOUZA, M. P. de. **Avaliação Ambiental Estratégica**. São Carlos: Suprema, 2009.

POLETO, C. (Org.). **Introdução ao gerenciamento ambiental**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

POUEY, M. T. F.; SATTLER, M. A.; SCHNEIDER, P. S. Coberturas verdes: análise de desempenho térmico. In: VII Encontro Nacional de Tecnologia de Ambiente Construído Qualidade no Processo Construtivo, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Npc/Ecv/Ctc/UFSC, 1998. Não paginado.

TABELAS de composições de preços para orçamentos. 13. ed (1. tiragem). São Paulo: Pini, 2008.

VASCONCELOS, M. **Avaliação de Transmitância Térmica de Coberturas**. Florianópolis: vertes arquitetura bioclimática e eficiência energética, 2011. Relatório Final de Atividades.