



A: XXXIX-0000

AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO ENTRE OS SISTEMAS DE TELHADO VERDE, ECOLÓGICO E CONVENCIONAL

ASSESSMENT OF THERMAL CONFORT BETWEEN GREEN, ECOLOGICAL AND CONVENTIONAL ROOF SYSTEMS

Bernardo L. S. Misaka (A) (1); José W. M. Kaehler (2); Simone D. Venquiaruto (3)

(1) Eng. Civil, Mestrando em Engenharia, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, Brasil.

(2) Dr. Eng. Elétrica, Prof. Adjunto, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, Brasil.

(3) Dra. Eng. Civil, Profa. Adjunta, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, Brasil.

Endereço para correspondência: lyoh.misaka@gmail.com; (A) Apresentador

Área temática: Meio Ambiente.

Resumo

Atualmente o serviço energético de uso final, representado pelo condicionamento ambiental interno das edificações, impõe o uso de equipamentos que utilizam eletricidade como vetor energético, os quais nem sempre operam com eficiência. A edificação através da sua envolvente constitui-se no primeiro e principal equipamento permanente, captador e emissor de energia térmica. Neste contexto, há um consenso no meio científico de que a estrutura de cobertura em uma edificação tem uma contribuição relevante para o aumento da temperatura interna. Logo, este trabalho visa testar a eficiência térmica de três sistemas de cobertura distintos para o clima da cidade de Alegrete/RS. Para analisar o comportamento térmico das coberturas foram montados três protótipos (células-teste), destes, duas células-teste receberam telhas com características que pontuam ecologicamente, e o outro foi confeccionado com uma telha convencionalmente utilizada no Brasil. Com a finalidade de comparar a eficiência entre as coberturas, o monitoramento da temperatura interna das células-teste foi realizado com o auxílio de equipamentos e *softwares* específicos. Para auxiliar na análise de dados, os resultados foram validados seguindo a norma ABNT NBR 15220. Concluiu-se que entre as estruturas de telhado estudadas, somente a de cobertura verde atendeu os padrões normativos vigentes e apresentou o melhor desempenho no quesito conforto térmico.

Palavras-chave: Transmitância térmica. Eficiência energética. Coberturas.

Abstract

Currently, the end-use energy service, represented by the internal environmental conditioning of buildings, imposes the use of equipment that uses electrical energy as an energy vector, not always operating efficiently. The building through its surroundings constitutes the first and main permanent equipment, capture and emitter of thermal energy. In this context, there is a consensus in the scientific community that the roof structure in a building has a relevant contribution to the increase in the internal. Therefore, this work aims to test the thermal efficiency of three different roofs systems for the climate of the city of Alegrete/RS. To analyze the thermal behavior of the roofs, three prototypes (test cells) were assembled, of which two test cells received tiles with ecologically punctuating characteristics, and the other was made with a tile conventionally used in Brazil. In order to compare the efficiency between the roof systems, the monitoring of the internal temperature of the test cells was carried out with the aid of specific equipment and software. To assist in data analysis, the results were validated following the ABNT NBR 15220 standard. It was concluded that among the roof structures studied, only the green roof structure met the current regulatory standards and presented the best performance in terms of thermal comfort.

Keywords: Thermal transmittance. Energy efficiency. Roofs.



1 INTRODUÇÃO

Segundo *World Wide Fund for Nature* (2007), um dos maiores problemas enfrentados pela sociedade atualmente é o aquecimento global, podendo resultar em cenários avassaladores no futuro e uma das saídas é o serviço energético de uso final, representado pelo condicionamento ambiental, que se fundamenta no uso da energia elétrica, aumentando o consumo energético. Visando atingir um equilíbrio entre o desenvolvimento e a sustentabilidade, De Souza *et al.* (2021) reforça que os projetistas possuem grande responsabilidade em conscientizar a população sobre alternativas que reduzam o consumo energético, pois a sua decisão afeta diretamente o consumo final de energia elétrica. Para a redução do consumo energético existem inúmeras soluções, sendo uma delas a implantação de sistemas de telhados que proporcionem melhores condições de conforto térmico nas edificações, pois segundo Lamberts (2014), a maior parte do fluxo de calor do exterior para o interior da edificação ocorre pela cobertura.

Em um estudo com auxílio de aplicativos realizado por Silveira (2014), o autor apresentou a diferença de temperatura e conforto térmico de duas edificações, uma contendo o isolamento de laje e outra não. Diante disso, ele observou o desconforto térmico gerado nas duas estruturas e que mesmo com uma laje isolante, muitas vezes, elas não conseguem proporcionar um conforto térmico aceitável classificado pela norma ABNT NBR 15220-3 (2005). Em um estudo sobre emissividade, Quevedo *et al.* (2021) reforça que o desempenho de edificações com materiais de baixa emissividade pode ser avaliado por meio de ensaios em laboratório, *in situ* ou por simulações.

Em função do exposto, esse capítulo aborda a análise experimental de três distintos sistemas de telhado durante o verão na cidade de Alegrete/RS. O experimento proporcionou obter um comparativo de desempenho entre eles, permitindo aferir sobre os benefícios dos sistemas de telhados alternativos (telhado verde e telhas ecológicas) em relação a um sistema de telhado convencional (telhado fibrocimento). Os sistemas de telhados alternativos foram escolhidos pela capacidade de promoverem um conforto térmico dentro da edificação. Sendo que o telhado verde traz ainda como vantagem a amenização de problemas relacionadas ao meio ambiente, tais como ilhas de calor, poluição atmosférica e impermeabilizações.

1.1 Justificativa

Com o mundo caminhando para um cenário ecológico e sustentáveis em conjunto com o crescimento e desenvolvimento das cidades, um dos pontos que tem chamado a atenção de ambientalistas está relacionado com a necessidade de redução do consumo energético. Visando que a probabilidade de que ocorra um aumento maior do consumo de energia, a busca por novos materiais e/ou novos sistemas de telhado que possuam a capacidade de diminuir um pouco deste consumo, é considerada necessária.

Frequentemente é discutido o desperdício de material gerado pela construção civil. Além dos resíduos tradicionais da construção civil, ainda podem ser gerados, em algumas ocasiões, resíduos classificados como perigosos e inertes. Logo, o aproveitamento de materiais alternativos e não perigosos, como o telhado ecológico, pode proporcionar benefício por ser um produto criado por meio de materiais reciclados e contribui de maneira relevante para a redução da quantidade de resíduos gerados pela construção civil. (Jadovsk, 2005; Wichinheiski e Fortes, 2022)

No Brasil, a utilização dos telhados ecológicos e verdes ainda não é muito bem difundida, porém, ambos os telhados possuem capacidade de isolamento térmico superior aos telhados



convencionais, agregando a edificação um maior conforto contra a grande amplitude térmica (Lopes, 2007; Magalhães, 2018, Alves *et al.*, 2021). Visando isto esta pesquisa buscou realizar um comparativo tanto de caráter técnico, quanto do custo/benefício, permitindo ao final do experimento, um embasamento científico para evidenciar sobre o uso destes telhados alternativos.

1.2 Objetivos

Este estudo teve por objetivo avaliar o desempenho térmico de sistemas de telhado verde, convencional e ecológico na cidade de Alegrete/RS, além de verificar as variações de temperatura entre cada sistema e parear os resultados com os valores obtidos em cálculo e ao final realizar um comparativo da relação custo/benefício entre as alternativas energéticas.

2 METODOLOGIA

2.1 Localização e caracterização climática da cidade do experimento

O desenvolvimento do experimento iniciou com a escolha da cidade e da verificação da sua caracterização climática. A pesquisa foi desenvolvida no município de Alegrete (latitude 29°46'59" Sul e longitude 55°47'31" Oeste). A cidade está situada na região fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul (Fig. 1-C), pertencendo a Zona Bioclimática 2 (Z2), representada na Fig. 1-B.



Figura 1 – Zoneamento Bioclimático onde: (A) zoneamento Bioclimático do Brasil; (B) zoneamento Bioclimático do RS; (C) localização da cidade de Alegrete no mapa do RS.

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005) divide o zoneamento bioclimático brasileiro em oito diferentes zonas relativamente homogêneas (Fig. 1-A), sendo que a zona Z2 representa cerca de 5,6% da extensão territorial do Brasil. A referida norma também apresenta para cada Zona Bioclimática brasileira diretrizes que podem ser implementadas para melhor conforto térmico das edificações. Para a Zona Bioclimática 2 a recomendação é de aberturas de ventilação média e com acesso ao aquecimento solar durante o inverno.

O desenvolvimento do projeto foi realizado em uma área em campo aberto da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) - campus Alegrete/RS. O local escolhido para a implantação do projeto no campus foi determinado seguindo os critérios de acessibilidade à rede elétrica para a utilização dos equipamentos de medição e armazenamento, e respeitando o aproveitamento máximo da fonte solar durante o período de recolhimento de dados.



2.2 Montagem e transporte e instalação dos protótipos

As células-teste foram confeccionadas em uma madeira local com a mesma área padrão ($0,25 \text{ m}^2$), utilizando como matéria prima Madeirit plastificado (12mm). Para as células-teste com telhas foi definida a inclinação de 30° , respeitando a recomendação designada pelos fabricantes.

Para o telhado com cobertura verde foi empregado o método extensivo (Fig. 2). A cobertura vegetal utilizada foi uma gramínea forrageira (*Cynodon Dactylon*) existente nos gramados da UNIPAMPA campus – Alegrete/RS. A escolha da gramínea se justifica pelo fato de que as plantas para telhado verde no modo extensivo devem ser espécies de menor crescimento, para facilitar o controle e a manutenção e também devido a sua adaptação com o ambiente e ao clima da cidade de Alegrete.



Figura 2 – Procedimento de montagem do telhado verde.

Os protótipos foram organizados no terreno com a “água” alinhada ao norte verdadeiro (Fig. 3). Segundo o grupo de pesquisa Exploração Integrada de Recursos Energéticos, seguindo as orientações do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito, existe uma correção na inclinação do norte magnético necessária para obter o norte verdadeiro, sendo esta correção do ângulo de inclinação em relação ao norte magnético, de $\delta = -23,45^\circ$. A Fig. 3 representa as células-teste após o processo de instalação no terreno.

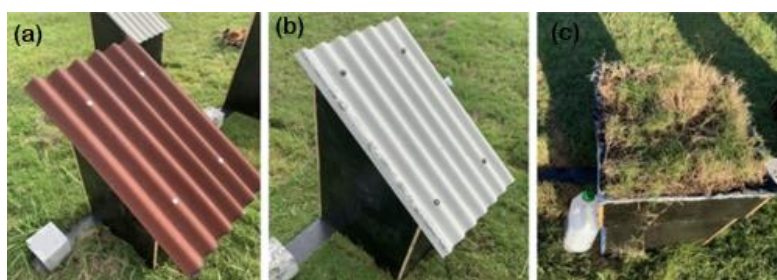


Figura 3 – Células-teste, onde: (a) célula-teste com cobertura de telha ecológica, (b) célula-teste com cobertura de telha de fibrocimento, e (c) célula-teste com cobertura verde.

2.3 Posicionamento e ligações dos sensores e equipamentos

Para a montagem do sistema de coleta de dados foram utilizados além dos termopares, os equipamentos *data logger* e computador *laptop*, e o programa *Agilent BenchLink Data Logger 3*. Para o controle da temperatura no interior de cada célula-teste foram instalados dois termopares apoiados por bastões (Fig. 4). O posicionamento dos termopares adotado para o projeto se justifica por fornecer uma coleta de dados mais detalhada, permitindo uma melhor análise do aquecimento interno dos protótipos oriundos da estrutura de cobertura.

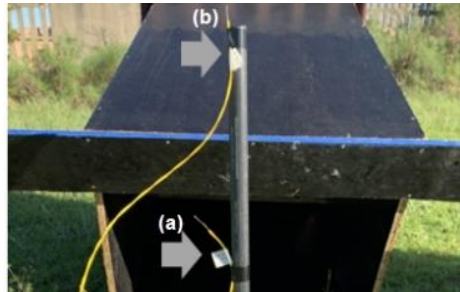


Figura 4 – Posição dos termopares dentro das células-teste, onde: (a) termopar instalado ao centro e (b) termopar instalado.

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O recolhimento de dados ocorreu de 19/04/2021 a 18/05/2021, totalizando dezessete dias. Os dias de coleta respeitaram o critério de dias corridos, levando em conta as limitações impostas pelos equipamentos, ou seja, coletas de dados apenas em dias secos. A tabela 1 e o gráfico da Fig. 5 apresentam os valores médios de temperatura adquiridos com o experimento

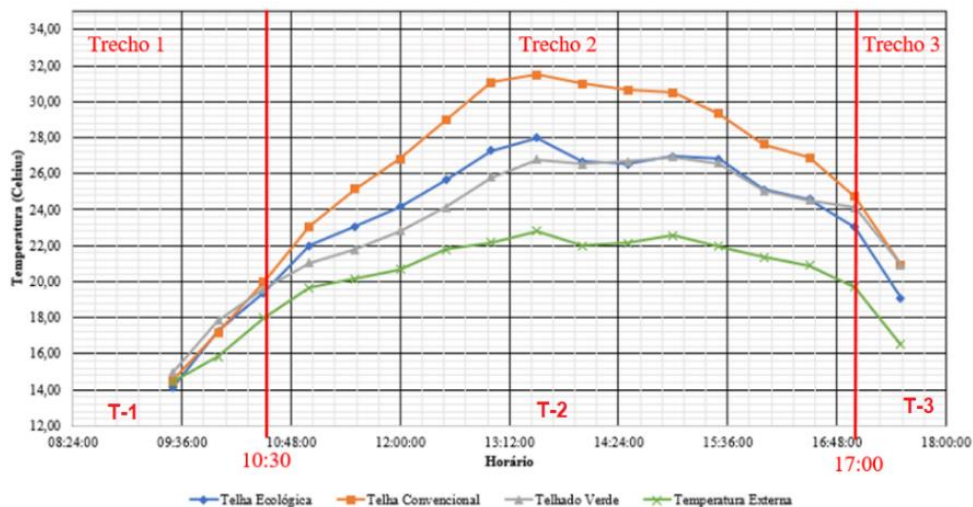


Figura 5 – Temperaturas médias das temperaturas dos tipos de cobertura

O *Data Logger* foi utilizado com a função de medição direta através de termopares, registrando as temperaturas com o espaçamento de tempo de 30 minutos entre as capturas no período de coleta. A captação de dados foi programada para iniciar aproximadamente às 09:30h da manhã e encerrar aproximadamente às 17:30h da tarde. Ao final de cada dia de teste, os dados ficavam armazenados em um computador com auxílio do programa *Agilent BenchLink Data Logger 3*, e o *Data Logger* era reprogramado e novamente instalado para o dia de observação seguinte. Após ajuste e testagem do sistema foram utilizados cinco dias para realizar a coleta das temperaturas internas das células-teste.

A tabela 1 mostra que as análises foram realizadas em três trechos distintos, sendo T-1 correspondente as informações coletas entre o período de 8:30h – 10:30h, T-2 correspondendo ao período das 10:30h – 17:00h e T-3 correspondendo a o período de 17:00h – 18:00h.



Tabela 1 – Dados médios de temperatura interna dos protótipos ($^{\circ}\text{C}$) e dados médios de temperatura externa – temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$)

Trecho	Horário Coleta	Telha Ecológica	Telha Convencional	Telhado Verde	Temperatura Externa
T-1	09:30:00	14,08	14,48	14,95	14,42
	10:00:00	17,26	17,18	17,84	15,84
T-2	10:30:00	19,38	19,98	19,58	18,00
	11:00:00	21,99	23,08	21,04	19,68
	11:30:00	23,07	25,16	21,80	20,15
	12:00:00	24,16	26,80	22,81	20,68
	12:30:00	25,64	28,97	24,11	21,77
	13:00:00	27,26	31,07	25,78	22,17
	13:30:00	27,98	31,49	26,78	22,82
	14:00:00	26,66	31,01	26,55	22,00
	14:30:00	26,54	30,64	26,68	22,14
	15:00:00	26,95	30,50	26,92	22,56
	15:30:00	26,82	29,34	26,55	21,95
	16:00:00	25,13	27,65	25,03	21,36
	16:30:00	24,60	26,89	24,51	20,89
	17:00:00	23,04	24,72	24,14	19,68
T - 3	17:30:00	19,09	20,95	20,95	16,50

Em T-1 a estrutura de cobertura da edificação precisa ter maior capacidade de reter calor, devido à baixa incidência de radiação solar. Neste trecho o telhado verde se destacou por apresentar uma temperatura interna superior de $0,87^{\circ}\text{C}$ a $0,47^{\circ}\text{C}$, no período das 09:30h e de $0,58^{\circ}\text{C}$ a $0,66^{\circ}\text{C}$, no horário das 10:00h em comparação as demais telhas

T-2 correspondeu a um período com aumento da incidência de radiação solar e elevação da temperatura interna da edificação. Logo, é desejável uma cobertura com capacidade de reter a transmissão excessiva de calor para o interior da edificação. Analisando T-2, é possível observar que a cobertura verde apresentou uma temperatura interna relativamente inferior à telha convencional, sendo a maior diferença registrada de $5,29^{\circ}\text{C}$, às 13:00h. Quando comparada com a cobertura de telha ecológica, até o período das 14:00h, a cobertura verde apresentou uma temperatura interna inferior com a máxima diferença ($1,53^{\circ}\text{C}$) no horário das 12:30h, e a partir deste horário até as 17:00h as duas telhas apresentaram temperaturas internas semelhantes.

T-3 representou um período em que a incidência de radiação solar voltou a reduzir, resultando na queda da temperatura externa. Nesta situação é necessário que a estrutura de cobertura apresente capacidade de retenção de calor. Considerando o momento em que ocorre a queda mais brusca de temperatura externa (17:00h \rightarrow 17:30h), a cobertura que apresentou a menor queda de temperatura foi a de Telhado Verde (com uma variação de temperatura de $3,19^{\circ}\text{C}$), seguida pela cobertura de Telha Convencional (com uma variação de $3,77^{\circ}\text{C}$) e, por último, a cobertura de Telha Ecológica (com uma variação de $3,95^{\circ}\text{C}$). Os dados mostraram novamente a cobertura de Telhado Verde em destaque.

3.1 Amplitude Térmica das coberturas

Com os valores máximos e mínimos das temperaturas observadas na tabela 1, foi possível obter a amplitude térmica de cada cobertura, representada pela “Variação” na tabela 2.



Tabela 2 – Amplitude térmica

Tipos de coberturas	Telha ecológica	Telha convencional	Telhado verde
Valores mínimos ($^{\circ}C$)	14,08	14,48	14,95
Valores máximos ($^{\circ}C$)	27,98	31,49	26,92
Variação ($^{\circ}C$)	13,90	17,01	11,96

Observa-se que a cobertura verde apresentou a menor variação ($11,96^{\circ}C$), seguida pela cobertura de telha ecológica ($13,90^{\circ}C$) e pela cobertura de telha convencional de fibrocimento ($17,01^{\circ}C$). A variação de temperatura é um importante fator para proporcionar o conforto térmico no interior das edificações e, quanto menor for a variação registrada, melhor será a capacidade do conjunto da estrutura de cobertura de isolar a transmissão de calor entre ambientes.

3.2 Custo para a produção dos protótipos

Foi realizado a comparação de valores financeiros para a montagem das células-teste estudadas no projeto, adotando-se como base valores de $0,25\text{ m}^2$ de cobertura por célula-teste. Os resultados mostram que o maior investimento foi aplicado para a execução do Telhado Verde, que apresentou um custo final de 48,01% do valor total do projeto, seguido pelo telhado ecológico, 31,50% e por fim, o Telhado de fibrocimento, com um custo de 20,49%.

4 CONCLUSÃO

A escolha do tipo de cobertura a ser empregado em uma construção tem importante contribuição para o conforto ambiental da edificação. Entre as coberturas investigadas e considerando o período em que os dados foram coletados e analisados, observou-se que as coberturas com telha ecológica e fibrocimento apresentaram comportamentos inferiores ao telhado verde, que apresentou a menor variação de temperatura interna, indicando melhor capacidade da estrutura de cobertura de isolar a transmissão de calor entre ambientes externos e internos. A cobertura verde traz ainda como vantagem o aspecto estético para uma região, além de permitir a possibilidade de execução de diferentes sistemas. Em contrapartida a cobertura verde é o sistema mais caro dentre os sistemas estudados e o sistema que exige maior manutenção e cuidados. Conclui-se que a cobertura verde demonstrou ser a estrutura mais promissora a ser utilizada na região de Alegrete/RS, por proporcionar um conforto térmico superior, além de permitir uma redução com os gastos de energia elétrica. No entanto, é importante ressaltar que os protótipos utilizados na pesquisa não foram testados com todos os seus elementos construtivos. Em função do exposto, os resultados devem ser vistos com cautela. Acredita-se que os desempenhos térmicos das coberturas com as telhas de fibrocimento e ecológica possam ser otimizados caso esses sistemas sejam testados com todos os elementos construtivos (aberturas, forros e paredes).

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus, minha família, amigos, servidores e Mestres, em especial o prof. Dr. José W. M. Kaehler, que tornaram esta pesquisa possível.



REFERÊNCIAS

- Alves, J.J.A. *et al.* (2021). Telhado verde e seu desempenho térmico em residências de regiões semiáridas. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 14, n. 4, p. 1-10.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 15220-3 (2005). Desempenho térmico de edificações, Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, Brasil.
- Guimarães, A.P.C. e Galdino, M.A. (2017). Potencial Solar – Sun Data v 3.0. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito, Rio de Janeiro, Brasil.
- De Souza, L.P. *et al.* (2021). Ensino de simulação termoenergética em edificações: um estudo de caso com estudantes de arquitetura. XVI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído; XII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Palmas Tocantis.
- Jadovski, I. (2005). Diretrizes técnicas e econômicas para usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição. Ms. Dissertação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.
- Lamberts, R. *et al.* (2014). Eficiência Energética na Arquitetura (3ª EDIÇÃO). ELETROBRAS/PROCEL, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Lopes, D.A.R. (2007). Análise do comportamento térmico de uma cobertura verde leve (CVL) e diferentes sistemas de cobertura. 2007. Ms. Dissertação, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- Magalhães, R.J. (2018) Desempenho térmico de telhas: Um estudo comparativo entre telhas ecológicas e telhas de fibrocimento. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, GO.
- Misaka, B.L.S. (2021). Avaliação do conforto térmico entre os sistemas de telhado verde, ecológico e convencional. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, RS.
- De Castro Quevedo, T. *et al.* (2021). Avaliação do fluxo de calor em coberturas com barreiras radiantes. XVI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído; XII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Palmas Tocantis.
- Silveira, F.M. *et al.* (2014). Análise do desempenho térmico de edificações residenciais ventiladas naturalmente: NBR 15.575 e ASHRAE 55. Ms. Dissertação, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP.
- Wichinheski, T. S. e Fortes, F. C. A. (2022). Classificação e quantificação dos resíduos provenientes da construção de uma residência unifamiliar Classification and quantification of waste from construction of a single-family residence. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 3, p. 22328-22344.
- World Wide Fund for Nature (2007). Agenda elétrica sustentável 2020: estudo de cenários para um setor elétrico brasileiro eficiente, seguro e competitivo. WWF-Brasil, Brasília, Brasil.