

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS - UFGD

DARLLAM DOS SANTOS COSTA
WELHERSON PEREIRA DA SILVA FREITAS

**ANÁLISE COMPARATIVA DA TEMPERATURA INTERNA DE
AMBIENTES COM TELHADO VERDE E TELHADOS
CONVENCIONAIS DE CERÂMICA**

DOURADOS/MS

2022

DARLLAM DOS SANTOS COSTA
WELHERSON PEREIRA DA SILVA FREITAS

**ANÁLISE COMPARATIVA DA TEMPERATURA INTERNA DE AMBIENTES COM
TELHADO VERDE E TELHADOS CONVENCIONAIS DE CERÂMICA**

Monografia apresentada ao Programa de Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como parte dos requisitos para obtenção do título de **BACHAREL EM ENGENHARIA MECÂNICA**.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Arantes Moreira
Área de concentração: 3.00.00.00-9 Engenharias
3.05.00.00-1 Engenharia Mecânica

DOURADOS/MS

2022

os Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

C o s t a , Darllam Dos Santos

ANÁLISE COMPARATIVA DA TEMPERATURA INTERNA DE
AMBIENTES COM TELHADO VERDE E TELHADOS CONVENCIONAIS
DE CERÂMICA [recurso eletrônico] /

Darllam Dos Santos Costa, Welherson Pereira da Silva Freitas. -- 2022.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Bruno Arantes Moreira.

TCC (Graduação em Engenharia Mecânica) -Universidade Federal da
Grande Dourados, 2022. Disponível no Repositório Institucional da

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados
fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a
fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

ANEXO D - AVALIAÇÃO FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Alunos: DARLLAM DOS SANTOS COSTA e WELHERSON PEREIRA

Título do trabalho e subtítulo: ANÁLISE COMPARATIVA DA TEMPERATURA INTERNA DE AMBIENTES COM TELHADO VERDE E TELHADOS CONVENCIONAIS DE CERÂMICA

BANCA EXAMINADORA

1. Presidente (orientador):

Prof. Dr. Bruno Arantes Moreira – FAEN/UFGD

2. Membro:

Prof. Dr. Rodrigo Borges Santos – FAEN/UFGD.

3. Membro:

Prof. Dr. Rafael Ferreira Gregolin – FAEN/UFGD

De acordo com o grau final obtido pelo aluno, nós da banca examinadora, declaramos Aprovado (Aprovado/Reprovado) o aluno acima identificado, na componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso (TCC-II) de Graduação no Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Grande Dourados.

Local

Data

Dourados, 14 de junho de 2022

Presidente

Membro
Membro

Prof. Dr. Rafael Ferreira Gregolin

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos nossos familiares e aos nossos amigos, que sempre nos deram força, durante nossa graduação. Ao orientador Prof. Dr. Bruno Arantes Moreira, por aceitar orientar este trabalho.

Somos gratos à Deus, por nos ter concedido disposição, força e saúde para concluir a faculdade, bem como, este trabalho final.

RESUMO

Coberturas localizadas em locais tropicais estão expostas a elevados níveis de radiação solar que influencia nos custos de resfriamento de edifícios climatizados e no conforto térmico em edifícios não climatizados. Desta forma, a mitigação dos ganhos de calor através da cobertura é uma das formas de reduzir os custos de energia, além de proporcionar conforto térmico aos usuários. O telhado verde pode ser entendido como um sistema que possui cobertura vegetal feita de sebes verdes. A implementação de telhados verdes é uma forma de compensar a grande redução de área verde em um ambiente urbano. O objetivo principal deste trabalho é avaliar as temperaturas internas de um ambiente com cobertura constituída por gramíneas, de forma a criar um telhado verde e comparar o comportamento com os telhados de cerâmicas convencionais. Para realizar um experimento do experimento foram construídos dois protótipos de MDF, sendo um coberto com telhado verde e o outro com a cobertura de telhado de cerâmica convencional. Os resultados mostraram que o protótipo com telhado verde apresentou menores temperaturas internas no período diurno quando comparado com os telhados convencionais de cerâmica. De maneira geral, a utilização de cobertura verde mostrou-se como uma alternativa viável e sustentável para melhorias de conforto térmico, em relação aos clássicos telhados convencionais de cerâmica.

Palavras chave: Ganho térmico, Cobertura verde, telhados convencionais.

ABSTRACT

Roofs located in tropical locations are exposed to high levels of solar radiation that influence the cooling costs of air-conditioned buildings and thermal comfort in non-air-conditioned buildings. Mitigating heat gains through the roof is one of the ways to reduce energy costs and provide thermal comfort to users. The green roof can be understood as a system that has vegetation cover made of green hedges. The implementation of green roofs is a way to compensate for the large reduction in green area in an urban environment. The main objective of this article is to evaluate the internal temperatures of an environment with a cover consisting of grasses, in order to create a green roof and compare the behavior with conventional ceramic roofs. To carry out an experiment of the experiment, two MDF prototics were built, one covered with a green roof and the other with a conventional ceramic roof covering. The results showed that the prototype with green roof had lower internal temperatures in the daytime when compared to conventional ceramic roofs. In general, the use of green roofs proved to be a viable and sustainable alternative for improving thermal comfort, in relation to the classic conventional ceramic roofs.

Keywords: Thermal gain, Green roof, conventional roofs

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Projeto dos protótipos.....	19
Figura 2 – Protótipos.....	20
Figura 3 – Temperaturas no interior de cada unidade experimental.....	23
Figura 4 – Desvio relativo percentual entre a temperatura do telhado tradicional e do telhado verde.....	25
Figura 5 – Variação de temperatura entre telhado verde e temperatura externa do ambiente.....	26
Figura 6 – Variação de temperatura entre telhado tradicional e temperatura externa do ambiente.....	26

Sumário

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos	11
1.2 Objetivos Específicos	11
1.3 Justificativa.....	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Principais tipos de telhados.....	13
2.2 Telhado Verde: definição.	15
2.3 Composições do Telhado Verde	16
2.4 Estrutura.....	17
2.5 Impermeabilização	17
2.6 Membrana Antiraiz.....	17
2.7 Camada de Drenagem	17
2.8 Substrato	18
2.9 Vegetação	18
3. MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.1 Análise do desempenho térmico dos protótipos com telhado convencional e com telhado verde	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
4.1 Avaliação da temperatura interna para os protótipos com telhado verde e com telhado de cerâmica	23
5. CONCLUSÃO.....	29
6. REFERENCIAS	30

1. INTRODUÇÃO

A energia térmica transferida pela irradiação solar através de uma cobertura para o ambiente interior de um edifício está associada a fatores, como os materiais que constituem a cobertura (telhado de jardim, telhas e materiais do teto). Outros fatores que podem ser destacados são a cor da tintura da parte externa, o uso de camadas de isolamento térmico e a ventilação do sótão.

A temperatura ou energia térmica de uma superfície influencia no consumo de energia elétrica de uma edificação, que depende dos níveis de irradiação solar absorvida pela mesma, do teor de água e das características do solo. Tais variáveis podem ser influenciadas pelos níveis de cobertura do solo, pois os solos podem estar mais ou menos expostos à radiação solar, dependendo do tipo de vegetação escolhido. Além disso, a camada de vegetação ajuda a evapotranspiração. Desta forma, a elevada densidade de vegetação, promove a redução nos valores de temperatura da superfície em virtude do sombreamento, elevação da umidade do solo e da evaporação ocasionada pela umidade presente solo (THEODOSIOU, 2003b; YAGHOUBIAN e SREBRIC, 2015).

O telhado verde apresenta diversas vantagens, como a diminuição da temperatura interna e da carga de resfriamento. Nos ambientes urbanos pode-se citar como vantagem a mitigação das bolhas de calor, controle das águas pluviais e consumo de gás carbônico. Para aprimorar o desempenho térmico e energético dos edifícios, estudos utilizando esta abordagem têm demonstrado que as coberturas verdes são eficientes na diminuição da taxa de transferência de calor para as regiões internas do edifício. PARIZOTTO e LAMBERTS (2011) realizou uma pesquisa experimental conduzida na cidade de Florianópolis. Neste estudo foi comparado o desempenho térmico de telhados verdes com telhados de telhas e telhas metálicas nos períodos quente e frio. Os resultados mostraram que os telhados de jardim contribuíram significativamente para a redução do ganho de calor durante as estações quentes e frias.

Muitas pesquisas têm sido feitas para reduzir o desempenho térmico e o consumo de energia usando telhados verdes. No estudo conduzido por JAFFAL, OULDBOUKHITINE e BELARBI (2012), foi avaliado a influência dos telhados verdes no consumo de energia. A folhagem, o solo, as telhas e as temperaturas do ar interno foram avaliadas, assim como, a transferência de calor (fluxo) através da cobertura,

as necessidades aquecimento, bem como, as de resfriamento. Os telhados verdes auxiliam na diminuição das temperaturas internas em cerca de 2°C e reduzem a demanda anual de energia em cerca de 6%.

1.1 Objetivos

Este trabalho teve como objetivo, analisar o desempenho térmico de uma cobertura verde quando comparada com coberturas convencionais constituído por telhas de cerâmica.

1.2 Objetivos Específicos

- Apresentar uma análise bibliográfica do conceito de telhado verde;
- Avaliar experimentalmente a redução da temperatura interna de um ambiente a partir da utilização de uma cobertura verde e comparar com um telhado convencional constituído por telhas de cerâmica.

1.3 Justificativa

Considerando os projetos de urbanização das cidades, e a aceleração não planejada do crescimento populacional, há claramente uma tendência crescente de disseminação de desastres ambientais.

Cada vez mais são noticiadas reportagens sobre enchentes, deslizamentos de terra, inundações, poluição sonora e atmosférica e o efeito estufa. Sabe-se que esses fatores estão diretamente relacionados aos problemas de urbanização urbana, mau planejamento e desrespeito ao nosso entorno.

Em resposta uma maior atenção tem sido dada ao meio ambiente. Destaca-se a preocupações relacionadas à água, bem como, ao ar, elementos primordiais para a qualidade de vida do homem.

Desta forma, os projetos relacionados a urbanização de cidades, não foram devidamente planejados. Por isso, verifica-se uma tendência à ocorrência de grandes problemas ambientais.

Diante do contexto apresentado, verifica-se uma maior necessidade relacionada as preocupações com as questões ambientais, em especial com o planejamento de edificações que foram planejadas com viés sustentável.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Principais tipos de telhados

a) Telhado cerâmico

Os telhados com cerâmica do tipo vermelha, estiveram acompanhando a evolução de diversas civilizações, com diferentes formas e particularidades relacionadas a cada época (NECKEL JUNIOR, 2008).

No Brasil a cobertura mais utilizada em edificações unifamiliares é a constituída por telhas de cerâmica. As telhas são feitas de barro o que proporciona um maior conforto térmico e acústico no interior (NEO IPSUM, 2022).

As telhas de cerâmica, tem como característica a reflexão de grande parte da radiação. Embora esta propriedade promova melhorias de conforto térmico no interior do ambiente, também promove a criação ilhas de calor, principalmente em grandes centros urbanos.

b) Telhado vidro

A partir do início do século XX, com o modernismo, as construções passaram a utilizar mais o vidro. Desta forma, passou-se a observar nas cidades que as edificações passaram ser constituídas com fachada de vidro (MICHELATO, 2007).

Mais recentemente, o telhado de vidro surge como outra opção de telhado. Este tipo de telhado proporciona uma ótima iluminação natural, sendo ideal para locais de socialização. Quando projetados da forma correta podem ser um excelente recurso estético (NEO IPSUM, 2022).

O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) indica a utilização balanceada entre a iluminação artificial e a natural (PINTO, 2014).

No caso da iluminação natural, pode ser obtida por meio de aberturas provenientes de lugares como fachadas. Tais aberturas auxiliam na diminuição no consumo de energia elétrica relacionada a iluminação do ambiente. No caso da iluminação artificial esta também é importante para os períodos noturnos e em locais distantes da fonte de iluminação natural. Outra vantagem do telhado de vidro destaca-

se a maior resistência a corrosão, quando comparado com os materiais constituídos de polycarbonato (PINTO, 2014).

Uma desvantagem dos materiais de vidro é que os mesmos podem ser frágeis e quebradiços. Além disso, geralmente os telhados de vidro possuem um maior custo para aquisição do que os clássicos telhados de cerâmica.

Outra desvantagem dos telhados de vidro, estão associados a temperatura interna dos ambientes que possuem tais telhados. Por isso, deve-se avaliar com cautela a implementação destes telhados em locais quentes. Os ambientes internos podem sair da faixa de conforto térmico, tendo em vista que os elevados índices de transmissividade do vidro em relação a radiação solar podem aquecer ambientes.

c) Coberturas de polycarbonato

As coberturas de polycarbonato têm como maior vantagem a possibilidade de aproveitar a iluminação natural. É ideal para espaços abertos e de recreação, pode ser curvada diferente das telhas de vidro. Precisam de pouca inclinação para escorrer a água de chuvas, entretanto tem como desvantagens o barulho intenso causado em períodos de chuvas e a elevada temperatura em dias quentes.

Como desvantagem do polycarbonato, destaca-se ao maior desgaste a ambientes abrasivo, deixando o material opaco com menor índices de transmissibilidade da luz.

d) Telhado verde

O telhado ecológico ou verde cada vez mais vem se tornando uma tendência em grandes centros devido ao aproveitamento de áreas não-úteis na edificação além de promover um maior contato com a natureza.

Esse sistema promove uma maior umidade do ar nos locais implantados, além de tornar o clima mais agradável dentro da edificação por proporcionar um isolamento térmico e acústico bastante eficaz.

Os telhados verdes ainda evitam a formação de ilhas de calor, como no caso de telhas cerâmicas, devido a absorção do calor pela vegetação. Uma ilustração de

um telhado verde em uma residência. Na seção 2.2 serão detalhadas mais informações sobre os telhados verdes.

e) Telhado de fibrocimento

Os telhados de fibrocimento já possuem tradição no Brasil, e recentemente vêm ganhando mais espaço graças ao aumento do uso de telhados embutidos nas concepções dos projetos.

Esse tipo de telhado apresenta facilidade na execução e é um sistema leve que não sobrecarrega de forma significativa a estrutura do imóvel. Além disso, destaca-se o custo reduzido de aquisição e implementação, quando comparado com outros tipos de coberturas existentes no mercado.

Como desvantagem das telhas de fibrocimento, estão associadas a estética, bem como ao desempenho térmico dos mesmos. As telhas de fibrocimento devem ser bastante planejadas de forma evitar possíveis aquecimentos exagerados nos ambientes, especialmente no verão, onde as temperaturas ambientes são mais elevadas e tem-se maior incidência de radiação solar.

f) Telhado de alumínio

A cada ano os telhados de alumínio vêm sendo mais utilizados. Este material é leve, de custo relativamente baixo e resistente às intempéries, propicia um razoável desempenho térmico e acústico, caso sejam aplicados associados a materiais isolantes.

Muitas vezes são utilizados em casas com platibandas altas para escondê-los, mas geralmente são mais utilizados amostra em espaços de usos menos nobres, como garagens.

2.2 Telhado Verde: definição.

Os telhados verdes podem ser definidos como um método em que diferentes vegetações são plantadas na área, nas fachadas ou no telhado (FERREIRA, 2007).

Minke (2005, citado por COSTA et. al 2012) menciona que os telhados verdes são constituídos por uma camada externa (superior) de solo, uma vegetação

devidamente escolhida, e, por fim, uma camada inferior de drenagem, sustentada por uma cobertura. Vale mencionar sobre a importância da impermeabilização nas camadas.

Um telhado verde pode ser entendido com um sistema que inclui uma cobertura vegetal composta por grama ou algum tipo de planta, que podem ser instaladas em coberturas regulares, de forma, a propiciar maior conforto térmico e acústico aos espaços internos, além de aproveitar seus benefícios sustentáveis.

Vale dizer que plantar no telhado vai além de uma atitude sustentável e natural, o uso de cobertura vegetal em lajes e telhados de casas e prédios, dá mais do que um novo visual de beleza, uma boa qualidade de vida mais do que qualquer outra coisa. vários benefícios. (FRANÇA, 2009). Nas cidades, os telhados verdes funcionam como um filtro contra a poluição e retenção de umidade relativa, não apenas por terem caráter estético e decorativo (OLIVEIRA, 2009).

De acordo com Laar (2001) as coberturas verdes proporcionam atividades terapêuticas, como, por exemplo, a jardinagem, que está relacionada na manutenção. Além disso, relatos dos usuários mencionam uma sensação de agradável ao suavizar o ambiente local e urbano através do uso de plantas.

As coberturas com telhados verdes começaram a se espalhar pelo planeta, onde o incentivo em sua implementação está associado a fatores como a cultura do país, o clima, a cultura, e, até mesmo a política. Pode-se exemplificar, nos países como Estados Unidos e Canadá, em que os telhados verdes são cobertos por questões econômicas. Em países europeus como a Alemanha, o uso de telhados verdes foi impulsionado por problemas relacionados ao meio ambiente. Na Noruega a população enxerga estas coberturas ecológicas um tipo de edificação que integra o patrimônio nacional (HENEINE, 2008).

2.3 Composições do Telhado Verde

Com a formação de um telhado verde, é necessário criar outras camadas, para que o sistema construtivo funcione bem e assim alcance a eficiência esperada desse tipo de telhado (MELO, 2017).

As seguintes camadas são geralmente utilizadas: estrutura, impermeabilização, membrana antiraízes, drenagem, separação substrato, substrato, vegetação, rufo (MELO, 2017).

2.4 Estrutura

De acordo com Savi (2015) o telhado verde pode ser dividido em alguns tipos materiais, tais como: telha (metálica), cobertura de concreto, chapa OSB da edificação, estrutura do telhado existente, dentre outros materiais. Para fazer a estrutura, os materiais compatíveis com a carga precisarão de uma cobertura vegetal.

Minke (2005), apud Savi (2015), mencionam que nos cálculos prediais deve-se levar em conta não somente a carga permanente da cobertura cheia de água e suas plantas, mas também deve-se avaliar as forças eventuais como, por exemplo, o movimento de indivíduos.

2.5 Impermeabilização

Durante a fase de impermeabilização indica-se muita cautela. Problemas relacionados com impermeabilização podem ocasionar patologias na estrutura da edificação.

2.6 Membrana Antiraiz

Esta camada protege o telhado do edifício de eventuais problemas ocasionados pelas raízes das plantas. A função da membrana Antiraiz é bloquear a invasão das raízes na camada impermeabilizante, assim como, na estrutura.

2.7 Camada de Drenagem

No sistema do telhado verde, existe ainda a camada de drenagem. Esta camada auxilia no direcionamento da água para os canais, permitindo escoar a água, bem como, dificultando que ocorra a saturação do solo.

Na camada de drenagem existe a separação do substrato, que é um recipiente que divide o substrato da drenagem, mantendo assim a percolação da água da chuva e evitando que o substrato influencie na parte de drenagem do telhado verde.

2.8 Substrato

É uma camada que proporcionará o desenvolvimento e criação de plantas no telhado. É responsável por fornecer às plantas os nutrientes necessários para cada tipo de planta.

2.9 Vegetação

A escolha do tipo de planta que fará a composição do telhado verde está relacionada com o local ou região em que o mesmo será instalado. Neste contexto é importante verificar características como o clima, as rajadas de vento locais, o histórico de precipitação pluviométrica, a temperatura, a umidade relativa e a orientação solar (SAVI, 2015).

Niachou et al. (2001) apud Savi (2015) relatou sobre o tipo de vegetação para a análise da temperatura do telhado. Segundo os autores a temperatura dos telhados verdes variam bastante, chegando em valores de até 12°C, dependendo do tipo de plantas encontradas em cada cobertura.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram construídos dois protótipos de um ambiente fechado, sendo um deles com cobertura de cerâmica e o outro com cobertura verde. Com tais protótipos foi possível desenvolver um ambiente fechado em que era possível avaliar a variação da temperatura interna ao longo do dia.

Os dois protótipos foram desenvolvidos com material de madeira de fibra de média densidade. O projeto com as dimensões de cada um dos protótipos está apresentado na Figura 1.

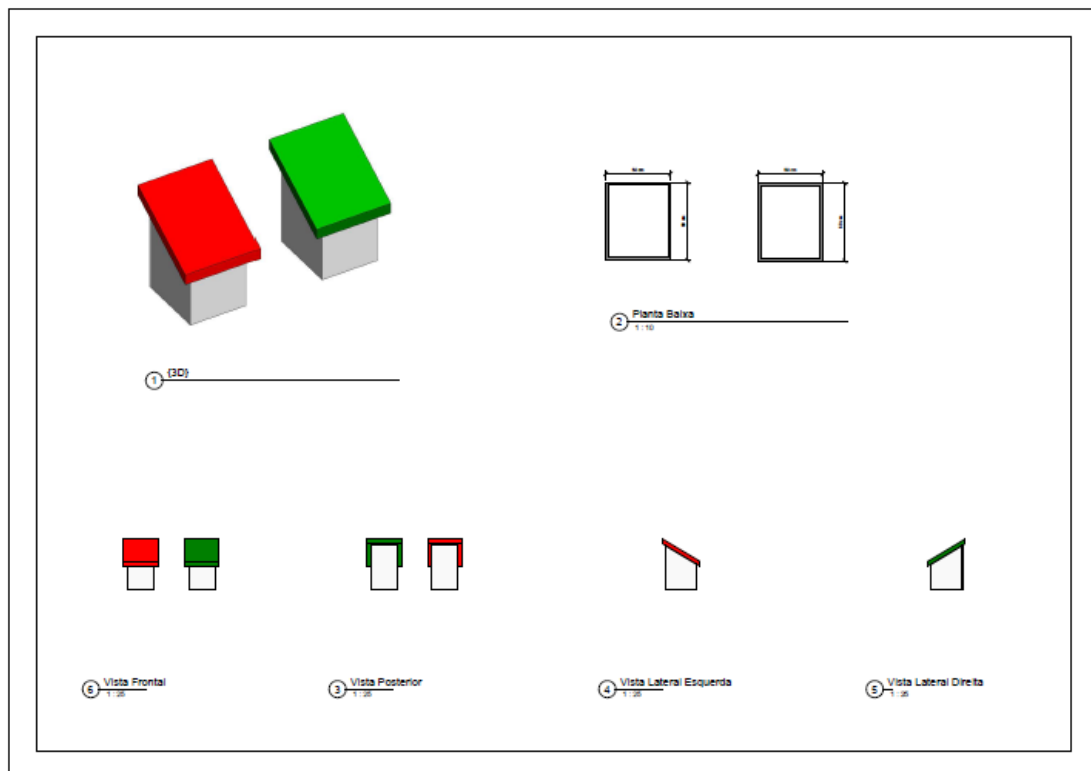


Figura 1- Projeto dos protótipos

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Para melhor compreensão dos protótipos desenvolvidos é mostrado na Figura 2 uma imagem fotográfica da unidade experimental.



Figura 2 – Protótipos

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022

Os experimentos foram conduzidos nas dependências de um sítio em Itaporã – MS. Ambos os protótipos foram implementados em paralelo, de forma a obter condições climáticas similares, tais como, correntes de vento e radiação solar incidente.

As temperaturas eram medidas a cada 60 minutos, totalizando um total de 12 horas de experimento. O experimento iniciou às 10 horas da manhã do horário de Mato Grosso do Sul (11 horas da manhã horário de Brasília) e finalizou às 22 horas da noite (23 horas do horário de Brasília).

3.1 Análise do desempenho térmico dos protótipos com telhado convencional e com telhado verde

As edificações devem possuir algumas propriedades que atendam a certas exigências de desempenho térmico.

A Norma NBR 15575-1:2013 da ABNT, estabelece os critérios de avaliação de desempenhotérmico de edificações para o verão e o inverno.

O nível de desempenho das edificações em relação ao desempenho térmico é classificado em: mínimo (M), intermediário (I) e superior (S). O nível M é o menor nível aceitável para uma edificação.

Como critério mínimo (M) é estabelecido que o valor máximo diário da temperatura do ar no interior do local, deve ser menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior.

As demais classificações de níveis de desempenho das edificações estão mostradas na Tabela 1.

Tabela 1-Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas de 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$
I	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2 \text{ }^{\circ}\text{C})$	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 1 \text{ }^{\circ}\text{C})$
S	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 4 \text{ }^{\circ}\text{C})$	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2 \text{ }^{\circ}\text{C})$
$T_{i,máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius. $T_{e,máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius. $T_{i,min.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius. $T_{e,min.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior da edificação, em graus Celsius.		

Fonte-Norma NBR 15575-1:2013

Conforme pode ser observado na Tabela 1, os níveis de desempenho intermediário e superior dependem da zona bioclimática.

O zoneamento bioclimático é uma classificação da norma ABNT NBR 15220-3. Tal norma classifica o território brasileiro em oito diferentes zonas, levando em consideração suas características bioclimáticas, tais como: localização geográfica, temperatura média mensal, amplitude térmica e umidade relativa do ar.

Segundo a ABNT NBR 15220-3 a cidade de Dourados – MS, está inserida na zona bioclimática 3. Vale mencionar que, embora os experimentos tenham sido realizados na cidade de Itaporã-MS, a classificação de tal cidade não está descrita na norma. Desta forma, foi utilizada a cidade de Dourados como referência, tendo em vista a grande proximidade entre as duas cidades.

Neste trabalho o desempenho de cada protótipo (telhado verde e de cerâmica) foi determinado a partir da comparação dos resultados obtidos experimentalmente

referentes a temperatura máxima interna ($T_{i,max}$) com a temperatura máxima externa (temperatura ambiente, $T_{e,max}$) .

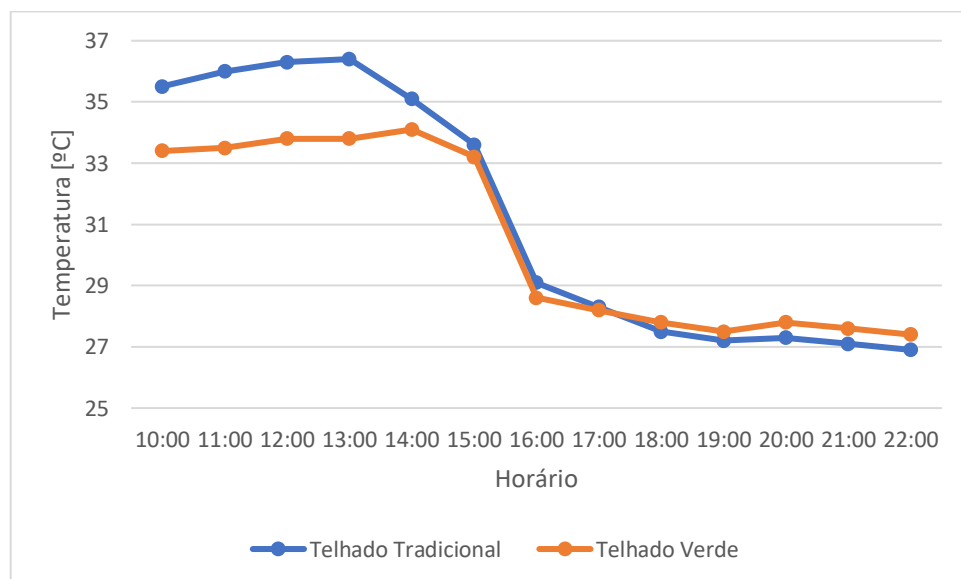
Os resultados referentes a temperatura externa ambiente, foram obtidos a partir das informações obtidas no portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para a cidade de Itaporã-MS.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Avaliação da temperatura interna para os protótipos com telhado verde e com telhado de cerâmica

Os resultados obtidos relacionados com as medidas de temperatura no interior das duas unidades experimentais (com telhado de cerâmica tradicional e com cobertura verde) estão apresentados na Figura 3.

Figura 3 -Temperaturas no interior de cada unidade experimental.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Na Figura 3 verifica-se que o protótipo com telhado verde apresentou temperaturas menores que o telhado de cerâmica durante o período diurno. Desta forma, pode-se concluir que, edificações que contemplam cobertura vegetal, são melhores no isolamento térmico. Tais edificações promovem melhorias de conforto térmico, bem como permitem reduzir a utilização de aparelhos como ventiladores e ar-condicionados.

Nota-se também na Figura 3 que após às 17:00 h as temperaturas entre o protótipo de cobertura verde e de cerâmica se aproximaram. Posteriormente, a partir das 19:00, com a temperatura ambiente reduzindo cada vez mais, tem-se a inversão das temperaturas, com o telhado verde exibindo a temperatura interna maior que o

telhado de cerâmica. Assim, o telhado verde apresentou menor amplitude térmica, protegendo o ambiente contra elevadas temperaturas em dias ensolarados, bem como, mantendo a temperatura no interior do local aquecida, para noites frias, em que houve redução substancial na temperatura externa.

Em contrapartida o telhado convencional de cerâmica apresentou maior amplitude térmica. Em noites frias, este tipo de telhado tende a reduzir de forma mais rápida a temperatura interna do ambiente, e, em dias quentes, tende a apresentar um maior aumento da temperatura interna no período diurno.

Ao analisar o comportamento do telhado verde e a menor amplitude térmica que este telhado exibe, pode-se concluir que gastos com energia elétrica com sistemas de refrigeração em dias quentes ou de aquecimento em dias frios podem ser reduzidos com a utilização de ambientes com este tipo de telhado, que também é considerado mais ambientalmente correto.

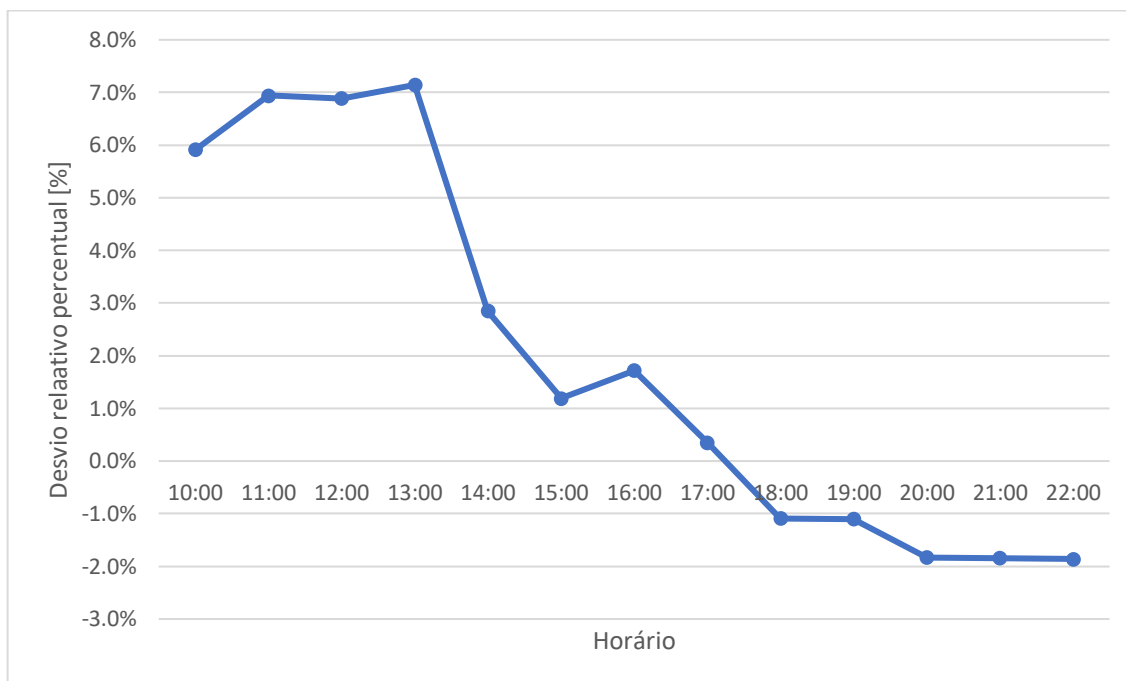
Uma outra forma de analisar os diferentes comportamentos nos ambientes com o telhado verde e o de cerâmica é a partir do desvio relativo. Para o cálculo de tal parâmetro foi utilizada a Equação (1):

$$\text{Desvio relativo} = \frac{\text{Temperatura do telhado tradicional} - \text{temperatura telhado verde}}{\text{Temperatura do telhado tradicional}} \times 100\% \quad (1)$$

Na Equação 1, foi utilizada temperatura do telhado tradicional como referência para o cálculo. As construções com telha cerâmica são utilizadas de forma muito mais frequente quando comparada com as construções de telhado verde.

Os desvios relativos entre a temperatura do telhado tradicional e do telhado verde calculados estão plotados para cada hora do dia, conforme mostra a Figura 4.

Figura 4 - Desvio relativo percentual entre a temperatura do telhado tradicional e do telhado verde.



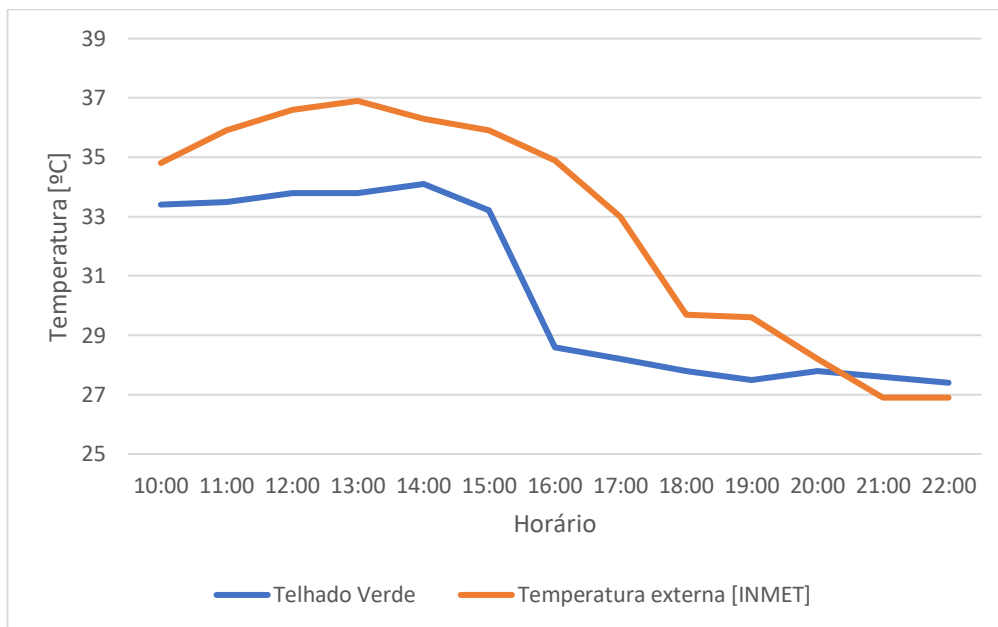
Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Observa-se na Figura 4 que a maior diferença de temperatura entre o telhado ecológico e o de cerâmica foi de 7% às 12:00. Este resultado indica que o telhado verde se mostrou mais viável para reduzir a temperatura interna do protótipo, justamente no momento de maior incidência de radiação solar.

Outra análise importante para avaliar o comportamento dos protótipos é comparar a temperatura interna em cada protótipo (verde e de cerâmica) com a temperatura externa ambiente.

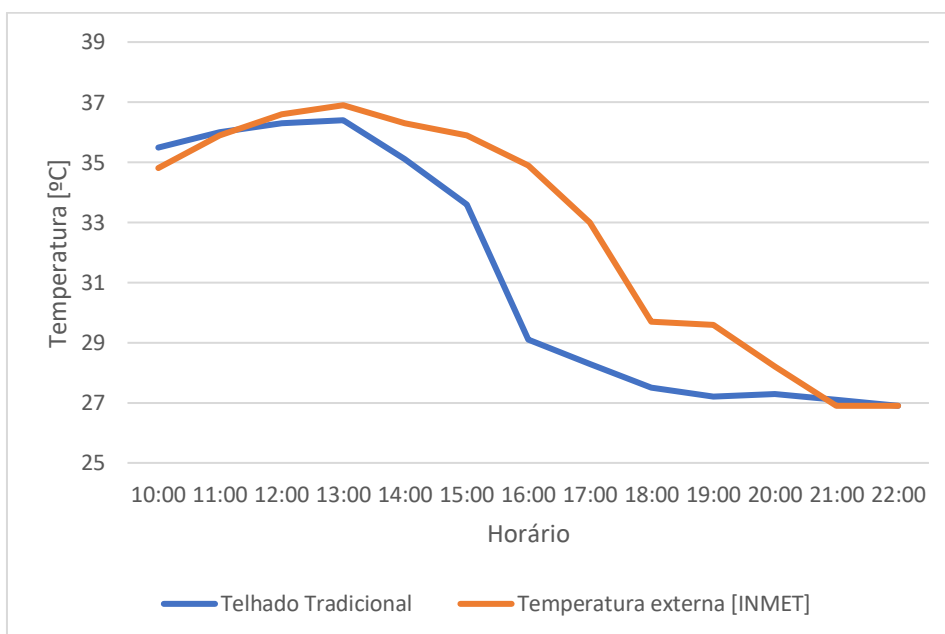
Os resultados da temperatura externa ambiente e da temperatura interna no protótipo do telhado verde estão apresentados na Figura 4. Na Figura 5 estão os resultados da temperatura externa ambiente e da temperatura interna do protótipo de telhado convencional. Os valores da temperatura externa ambiente foram obtidas no portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para a cidade de Itaporã-MS.

Figura 5 - Variação de temperatura entre telhado verde e temperatura externa do ambiente



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Figura 6- Variação de temperatura entre telhado tradicional e temperatura externa do ambiente



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022

Observa-se nas Figuras 5 e 6 que as temperaturas do protótipo com telhado verde mantiveram-se abaixo da temperatura externa ambiente em todo período diurno. Enquanto a temperatura do protótipo com telhado convencional, mostrou-se próxima da temperatura ambiente externa em vários momentos do período diurno e noturno.

Observa-se também nas Figura 5 e 6 que a temperatura máxima externa no dia do experimento foi de $T_{e,max}=36,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tal temperatura é superior as temperaturas máximas dos protótipos com telhado verde e com telhado de cerâmica, que atingiram respectivamente os valores de $T_{i,max}=34,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $T_{i,max}=36,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tais resultados indicaram que os protótipos atingiram níveis de desempenho térmico aceitáveis para uma edificação, conforme explanado na sequência.

A partir da utilização dos critérios de desempenho térmico de edificações definidos pela Norma NBR 15575-1:2013 da ABNT foi possível classificar o desempenho dos protótipos estudados experimentalmente. Para isso, foi calculada a diferença da temperatura máxima ambiente com a temperatura máxima interna nos protótipos, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Análise do desempenho térmico dos protótipos estudados.

	Diferença de temperatura ($T_{e,max}-T_{i,max}$)	Desempenho
Telhado de cerâmica	+0,5 °C	Mínimo (M)
Telhado verde	+3°C	Intermediário (I)

*O critério de desempenho foi avaliado para zona bioclimática 3, conforme define a ABNT NBR 15220-3.

O protótipo com telhado de cerâmica teve um desempenho térmico classificado como Mínimo (M). Esta classificação foi obtida, tendo em vista a diferença entre a temperatura máxima ambiente e temperatura máxima interna do protótipo ($T_{e,max}-T_{i,max}=0,5^{\circ}\text{C}$). Segundo a Norma NBR 15575-1:2013 se o ambiente apresentar $0 \geq T_{e,max} - T_{i,max} < 2$, este atinge o critério mínimo de desempenho térmico.

Para o telhado verde, este teve seu desempenho classificado como intermediário (I). A classificação de nível de desempenho intermediário do telhado verde foi obtida, tendo em vista a diferença entre $T_{e,max}-T_{i,max}=3^{\circ}\text{C}$. Segundo a

Norma NBR 15575-1:2013 para zona bioclimática 3, se o ambiente apresentar $2 \geq T_{e,max} - T_{i,max} < 4$, o ambiente possui um desempenho térmico intermediário.

Tais resultados indicaram que a redução no ganho térmico, foi suficiente para classificar o protótipo com o telhado verde em um desempenho superior ao protótipo com telhado convencional.

A importância da classificação de edificações em níveis de desempenho superior, além de trazerem maior conforto térmico para os usuários, também podem valoriza-lo. A própria norma NBR 15575-1 recomenda que o construtor explicita o desempenho das edificações, quando a mesma exceder o nível mínimo (M).

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho um ambiente com telhado verde e um com telhado convencional de cerâmica foram comparados e analisados.

Os resultados experimentais mostraram a viabilidade da utilização do telhado verde como uma alternativa viável e sustentável para melhorias de conforto térmico quando comparado com os telhados tradicionais.

Através dos resultados experimentais foi possível concluir que a utilização de sistemas de refrigeração, no ambiente com telhado verde resultaria em menores gastos com energia, pois seria necessário menores tempos de utilização dos equipamentos para chegar à temperatura desejada. Tal conclusão foi obtida, pois, os ensaios experimentais mostraram que no período diurno, o ambiente com cobertura verde, manteve-se sempre com a temperatura interna menor quando comparada com o telhado convencional de cerâmica.

No período noturno o ambiente com cobertura verde, apresentou uma menor diminuição de temperatura quando comparado com o telhado convencional. Tal resultado, indica que ambientes com coberturas verdes, tornam-se mais protegidos tanto contra o calor excessivo do dia, quanto o frio intenso dos períodos noturnos.

O protótipo com telhado de cerâmica teve um desempenho térmico classificado como Mínimo (M), já o telhado verde teve uma classificação de desempenho superior, sendo este classificado como intermediário (I). Estas classificações dos protótipos foram estabelecidas seguindo os critérios de desempenho térmico descritos pela norma NBR 15575-1:2013 da ABNT, .

6. REFERENCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3:

Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. p. 30, 2005.

COMA, J. et al. Thermal assessment of extensive green roofs as passive tool for energy savings in buildings. *Renewable Energy*, v. 85, p. 1106–1115, 2016.

GÜTHS, S. et al. Um transdutor de fluxo de calor a gradiente tangencial. XI Congresso Brasileiro em Engenharia Mecânica. Anais do XICOBEM, 1995

JAFFAL, I.; OULDBOUKHITINE, S.E.; BELARBI, R. A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. *Renewable Energy*, v. 43, p. 157–164, 2012.

LIZ, D. G. S. DE. Análise Experimental do Comportamento Térmico do Telhado Verde Extensivo para Florianópolis. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

MELO, P. H. A Telhado verde uma alternativa para construções sustentáveis: análise comparativa com telhados de cerâmica e fibrocimento. Trabalho de conclusão de curso. Centro Universitário – Cesmac, 2017.

MICHELATO, R. Avaliação do desempenho térmico de vidros refletivos: Estudo de caso em células-teste. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, 2007.

MICHELS, C. et al. Development of an experimental test rig for the evaluation of the thermal performance of building roofs. *Energy and Buildings*, v. 180, p. 32–41, 2018.

MIRANVILLE, F. et al. On the thermal behaviour of roof-mounted radiant barriers under tropical and humid climatic conditions: Modelling and empirical validation. *Energy and Buildings*, v. 35, n. 10, p. 997–1008, 2003.

NECKEL JUNIOR, LORENÇO. Processamento de telhas cerâmicas por compactação de pós e queima em forno a rolo. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2008

PARIZOTTO, S.; LAMBERTS, R. Investigation of green roof thermal performance in temperate climate: A case study of an experimental building in Florianópolis city, Southern Brazil. *Energy and Buildings*, v. 43, n. 7, p. 1712–1722, 2011.

PINTO, J, M. M. Avaliação da eficiência energética nos sistemas de iluminação do tribunal de contas do Paraná. Dissertação de mestrado. UTFPR, 2014.

THEODOSIOU, T. G. Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique. *Energy and Buildings*, v. 35, n. 9, p. 909–917, 2003.

YAGHOUBIAN, N.; SREBRIC, J. Influence of plant coverage on the total green roof energy balance and building energy consumption. *Energy and Buildings*, v. 103, p. 1–13, 2015.