

ANÁLISE COMPARATIVA DE DESEMPENHO TÉRMICO EM COBERTURAS COM TELHA DE CONCRETO, FIBROCIMENTO E ISOTÉRMICA

COMPARATIVE ANALYSIS OF THERMAL PERFORMANCE IN ROOFING WITH CONCRETE, FIBER CEMENT, AND ISOTHERMAL TILES

MORAIS FILHO, Denio Losi de¹; ROCHA, Willian Garcia²; SANTOS, Pablo Conceição dos³; TENÓRIO, Helen Oliveira⁴

RESUMO

O objetivo deste estudo foi medir o desempenho térmico, verificar o atendimento da norma e classificar cada um dos três sistemas de cobertura entre mínimo, intermediário e superior, seguindo todas as orientações normativas das NBR 15220 e NBR 15575 de desempenho térmico em estruturas. Os sistemas de cobertura com telha de concreto, com telha de fibrocimento e com telha isotérmica foram avaliados por duas metodologias distintas, uma baseada nas propriedades de cada material que compõe o sistema de cobertura, calculando a transmitância térmica, e a outra, utilizando uma comparação de temperatura externa e interna. Ao final de cada análise, foi possível classificar os sistemas e entender quais propriedades mais influenciam na eficiência de uma cobertura, comprovando a melhor eficiência de sistema de cobertura com telha isotérmica.

Palavras-chave: Transmitância térmica, Calor, Temperatura, NBR 15220, NBR 15575.

ABSTRACT

The objective of this study was to measure the thermal performance, verify compliance with the standard and classify each of the three roofing systems between minimum, intermediate and superior following all the normative guidelines of NBR 15220 and NBR 15575 of thermal performance in structures. The roofing systems with concrete tile, fiber cement tile and isothermal tile were evaluated using two different methodologies, one based on the properties of each material that compose the roofing system, calculating the thermal transmittance and the other using a temperature comparison external and internal. At the end of each analysis, it was possible to classify the systems and understand which properties most influence the efficiency of a roof, proving the best efficiency of the roofing system with isothermal tile.

KeyWord: thermal transmittance, heat, temperature, NBR 15220, NBR 15575.

¹ Acadêmico do Curso de Engenharia Civil da Faculdade Unida de Campinas – FacUNICAMPS. E-mail: denio_losi@hotmail.com

² Acadêmico do Curso de Engenharia Civil da Faculdade Unida de Campinas – FacUNICAMPS. E-mail: pabblosantos@gmail.com

³ Acadêmico do Curso de Engenharia Civil da Faculdade Unida de Campinas – FacUNICAMPS. E-mail: williangrl@gmail.com

⁴ Orientadora do Curso de Engenharia Civil da Faculdade Unida de Campinas – FacUNICAMPS. E-mail: Helen.tenorio@facunicamps.edu.br

Sumário

1. INTRODUÇÃO	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 Mecanismos de Transferência de Calor	8
2.2 Conforto Térmico	9
2.3 Propriedades Termofísicas e Características dos Materiais	9
2.4 Coberturas.....	11
2.5 Desempenho térmico de telhas	12
2.6 Normas brasileiras.....	13
2.7 Transmitância térmica.....	14
3. METODOLOGIA.....	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1 Método 1.....	28
4.2 Método 2.....	29
5. CONCLUSÃO	30
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
Anexo 1 – Memórial de Calculo	34
1. Transmitância térmica no sistema de cobertura com com telha de concreto.	34
2. Transmitância térmica no sistema de cobertura com telha de fibrocimento.	35
3. Transmitância térmica no sistema de cobertura com telha isotérmica.	36

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o conforto térmico em ambientes construídos tem sido cada vez mais valorizado, e a escolha de materiais para as coberturas das edificações tem se tornado um aspecto relevante nesse sentido. A cobertura é um elemento fundamental na construção civil, sendo responsável por proteger a edificação das intempéries climáticas, além de contribuir para o conforto térmico do ambiente interno.

É importante que sejam utilizados materiais que apresentem boas propriedades térmicas, visando a economia de energia e o conforto dos usuários. Nesse contexto, a escolha do tipo de telha para cobertura pode influenciar diretamente no desempenho térmico da edificação. Existem diversas opções disponíveis no mercado, como as telhas de concreto, fibrocimento e isotérmica, cada uma com características específicas, o que torna a investigação do desempenho térmico desses materiais uma questão crucial.

Na construção civil, as normas técnicas são essenciais para garantir a segurança e o desempenho das edificações, bem como para a melhoria do conforto térmico e acústico dos usuários. Nesse sentido, duas normas técnicas relevantes para a construção civil são a NBR 15220 (ABNT, 2005) e a NBR 15575 (ABNT, 2013), que tratam, respectivamente, do zoneamento bioclimático brasileiro e das exigências de desempenho das edificações habitacionais.

A NBR 15220 (ABNT, 2005) estabelece diretrizes para a construção de edificações de interesse social, com base no clima e na região em que se encontram. Isso permite a escolha adequada de materiais e tecnologias construtivas que proporcionem conforto térmico, reduzam o consumo de energia e favoreçam a sustentabilidade das edificações. Já a NBR 15575 (ABNT, 2013) define os requisitos mínimos de desempenho para os sistemas estruturais, vedações verticais e coberturas das edificações habitacionais, com o objetivo de garantir segurança, conforto, higiene e saúde dos usuários.

No que se refere à cobertura das edificações, a NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece que os sistemas devem garantir o conforto térmico, a proteção contra intempéries e a durabilidade. No entanto, a norma não especifica um tipo de cobertura específico, deixando a escolha a critério do projetista ou construtor. Neste contexto, a análise comparativa de desempenho térmico em coberturas com telha de concreto, fibrocimento e isotérmica pode

fornecer informações valiosas para a escolha adequada de materiais e tecnologias construtivas, levando em consideração o clima e as condições locais.

Ao comparar as telhas de concreto, fibrocimento e isotérmicas, espera-se obter informações importantes sobre o desempenho térmico de cada material em diferentes condições climáticas. Essas informações podem ser úteis tanto para profissionais que estão projetando e construindo novas edificações quanto para aqueles que estão buscando soluções para melhorar o conforto térmico em edificações já existentes.

O presente estudo tem o objetivo de analisar comparativamente o desempenho térmico de coberturas com telha de concreto, fibrocimento e isotérmica com base nas normas NBR 15575 (ABNT, 2013) e NBR 15220 (ABNT, 2005). Como objetivos específicos buscou-se: comparar a diferença de temperatura interna e externa entre as coberturas com telha de concreto, fibrocimento e isotérmica, todos os sistemas com laje de concreto, seguindo as diretrizes da NBR 15220 (ABNT, 2005); verificar se as coberturas atendem aos requisitos de desempenho térmico estabelecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013); por modelos analíticos analisar a transmitância térmica dos três sistemas de cobertura (laje de concreto e variação da telha), a fim de identificar as suas eficiências térmicas em conformidade com a norma ABNT NBR 15575 (ABNT, 2013).

A análise comparativa do desempenho térmico de coberturas com diferentes materiais é um tema relevante na área da construção civil, já que pode influenciar no conforto térmico dos usuários e no consumo energético do edifício. Nesse sentido, justifica-se a realização de um estudo que possa investigar e comparar o desempenho térmico de coberturas com telha de concreto, fibrocimento e isotérmica, tendo como base as normas NBR 15575 (ABNT, 2013) e NBR 15220 (ABNT, 2005).

Além disso, este estudo pode contribuir para o desenvolvimento de tecnologias que possam reduzir o impacto ambiental da construção civil, já que o consumo energético de edifícios pode representar uma parcela significativa das emissões de gases de efeito estufa. A partir dos resultados obtidos, será possível identificar quais materiais apresentam melhor eficiência energética, possibilitando a escolha de materiais mais adequados para cada contexto específico.

Por fim, é importante destacar que a realização de um estudo que investigue o desempenho térmico de coberturas com diferentes materiais é fundamental para aprimorar as tecnologias existentes na construção civil, garantindo conforto térmico para os usuários e reduzindo o impacto ambiental. A comparação dos resultados com as normas estabelecidas pela

ABNT permitirá a verificação do atendimento aos requisitos técnicos necessários para garantir a qualidade da edificação.

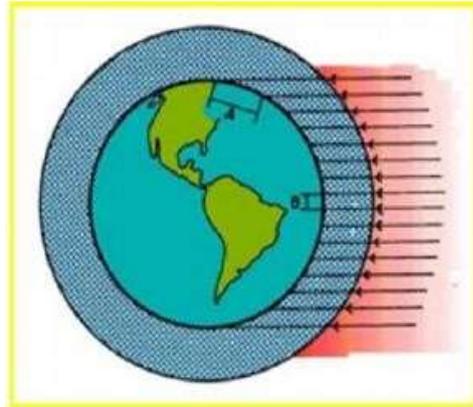
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste conteúdo da revisão bibliográfica, serão apresentadas referências, normativas e metodologias a aplicar no desenvolvimento para a comparação dos três sistemas de coberturas.

A potência da radiação solar é influenciada pelo comprimento da trajetória percorrida pelos raios solares através da atmosfera, que por sua vez é condicionada pela altura solar, que varia de acordo com a hora do dia, como mostrado na figura 1. O impacto da radiação solar nas edificações é determinado por diversos fatores, como as condições atmosféricas, a localização geográfica, o ângulo de incidência dos raios solares nas superfícies e no solo, a distância percorrida pela radiação ao atravessar a atmosfera e a composição da própria atmosfera.

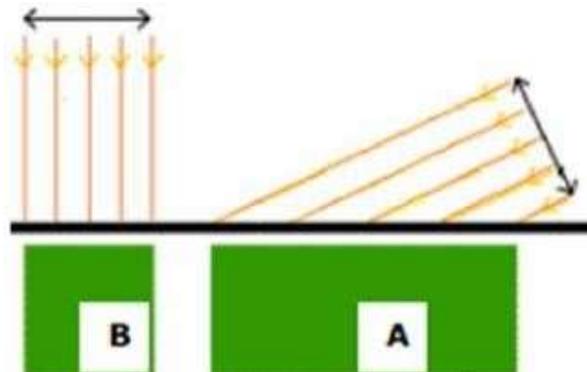
Nos estudos relacionados ao desempenho térmico de telhas, é essencial considerar a influência da radiação solar incidente, a qual apresenta variações significativas de acordo com a latitude. Conforme destacado por Peralta (2016), em latitudes próximas ao equador, os raios solares incidem perpendicularmente à superfície terrestre (B), enquanto em latitudes mais elevadas, o ângulo de incidência é inferior a 90° (A). Além disso, é fundamental observar que, nessas latitudes mais elevadas (A), os raios solares têm um trajeto mais longo pela camada atmosférica, resultando em uma radiação solar de menor intensidade que alcança a superfície. A variação na orientação e inclinação das superfícies pode, portanto, influenciar os níveis de radiação solar incidente, sendo relevante ressaltar que a intensidade e o ângulo da radiação solar também variam ao longo das diferentes épocas do ano, conforme ilustrado na figura 2.

Figura 1 - Variação da intensidade da radiação solar conforme a latitude



Fonte: Gonzalez (1986).

Figura 2 - Representação da radiação solar, incidente em A e B.

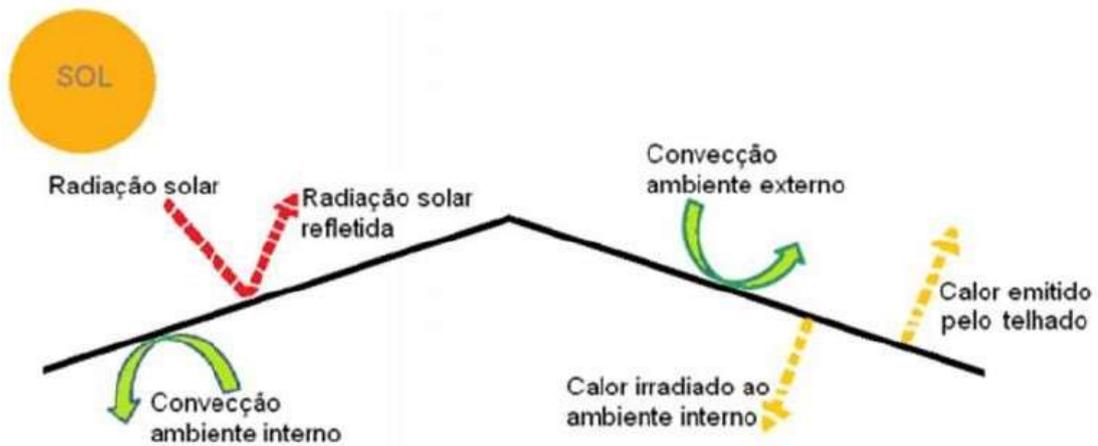


Fonte: Gonzalez (1986).

Segundo Silveira (2003), as coberturas recebem uma incidência solar maior do que as paredes, pois estão mais expostas. A incidência solar nas coberturas pode chegar a 12 horas por dia, dependendo da época do ano, enquanto que as paredes recebem entre 5,5 e 6 horas de sol, para latitudes maiores.

É durante o verão que ocorre o maior ganho de calor nas edificações, devido à grande incidência solar. Quando a radiação solar incide na edificação e no seu entorno, é convertida em energia radiante na faixa correspondente ao infravermelho, o que contribui para o aumento da temperatura interna do ambiente (PERALTA, 2016).

Figura 3 - Esquemas de trocas de calor de um telhado



Fonte: Peralta (2016).

A cor da superfície externa pode influenciar a transmissão da radiação solar, afetando o desempenho térmico da edificação. Isso ocorre porque parte da radiação absorvida é convertida em calor, que é transmitido para o interior da edificação (PERALTA, 2016).

2.1 Mecanismos de Transferência de Calor

A termodinâmica define tipos de energia, trabalhos, processos e suas medidas. Como também discute a temperatura e as suas escalas.

O calor é definido como uma forma de energia transferida entre dois sistemas (ou entre um sistema e sua vizinhança) em virtude da diferença de temperatura. Ou seja, uma interação de energia só é calor se for ocorrida devido à uma diferença de temperatura. Dessa forma, não pode haver qualquer transferência de calor entre dois sistemas que estejam à mesma temperatura. Conforme Çengel e Boles (2013).

Sendo assim, toda energia solar irradiada sobre um sistema de cobertura vai gerar calor, este por sua vez será transferido para a parte interna do sistema, devido à diferença de temperatura entre elas até estarem em equilíbrio. Esta transferência se dará sempre da maior temperatura para a menor.

Existem 3 mecanismos de transferência de calor: a condução, convecção e radiação.

Segundo Çengel e Boles (2013):

- A condução é a transferência de energia das partículas mais energéticas de uma substância para as partículas menos energéticas como resultado da interação entre as partículas.
- A convecção é a transferência de energia entre uma superfície sólida e o fluido adjacente que está em movimento.
- A radiação é a transferência de energia devido à emissão de ondas eletromagnéticas (ou fótons).

2.2 Conforto Térmico

Apesar do homem ser adaptável às condições climáticas, ele necessita de várias ferramentas como roupas, edificações e tecnologias para a sua sobrevivência.

Segundo Ashrae (2005), conforto térmico é um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa.

Diante da necessidade do ser humano, a engenharia e arquitetura vêm através de suas tecnologias proporcionar condições satisfatórias de vivências em cada região, segmentando condições climáticas e desenvolvendo sistemas cada vez mais eficientes ao conforto humano dentro de suas construções.

Conforme Rivero (1986), o ser humano intercambia calor com todo entorno. Daí que seu conforto térmico depende das temperaturas e emissividades das superfícies dos fechamentos e dos equipamentos que o rodeiam, da radiação solar que penetra pelas vidraças e da ventilação.

2.3 Propriedades Termofísicas e Características dos Materiais

O aperfeiçoamento da atividade térmica das telhas e de outros componentes necessita de um estudo detalhado que aborde todos os aspectos relacionados aos materiais de construção relacionados ao clima. Quando os ladrilhos são expostos a altas temperaturas, eles mantêm o calor e o dissipam durante a noite. Esta propriedade varia em função das características térmicas dos materiais e deve ser aplicada tendo em conta as estratégias climáticas adequadas a cada local.

Existem diversas propriedades termofísicas dos materiais de construção que têm impacto na transferência de calor. Estas propriedades incluem: absorção, reflexão e emissão de

calor (características superficiais em relação à radiação de ondas longas); condutividade térmica dos materiais; capacidade térmica dos materiais; transparência à radiação; resistência e condutância dos componentes; capacidade térmica dos componentes; coeficiente de convecção superficial; características dos materiais (transparentes e opacos) em relação à radiação solar; e coeficiente global de transferência térmica dos componentes (PERALTA, 2016).

Em regiões com clima quente, como o Brasil, utilizar materiais que apresentem menor absorção da radiação solar pode resultar em menor aquecimento nas edificações. Isso contribui para reduzir o ganho de calor, melhorar o conforto dos ocupantes e diminuir o consumo de energia associado ao condicionamento de ar.

A norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005) fornece tabelas contendo as propriedades térmicas dos materiais presentes nos elementos construtivos, bem como os métodos de cálculo para a transmitância térmica, fator solar e atraso térmico de elementos homogêneos e heterogêneos. Dessa forma, é possível compreender o comportamento termal dos materiais e elementos construtivos com base em suas propriedades térmicas.

O quadro 1 apresenta algumas definições.

Quadro 1 - Características térmicas de materiais, elementos e componentes construtivos

Emissividade	Capacidade de um objeto emitir radiação eletromagnética (no nosso caso, energia infravermelha) quando o comparamos com o chamado "corpo negro" para a mesma temperatura e comprimento de onda. A energia emitida é proporcional à quarta potência da temperatura de um objeto.
Emitância	Emissão de radiação por unidade de área
Absortância à radiação solar	Taxa de absorção de radiação solar por uma superfície dividida pela taxa de radiação solar incidente nesta mesma superfície.
Absortância em ondas longas	Taxa de absorção de radiação de ondas longas por uma superfície dividida pela taxa de radiação de ondas longas incidente sobre esta mesma superfície.
Refletância à radiação solar	Taxa de reflexão de radiação solar por uma superfície dividida pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.
Refletância em ondas longas	Taxa de reflexão de radiação de ondas longas por uma superfície dividida pela taxa de radiação de ondas longas incidente sobre esta mesma superfície.

Fonte: ABNT, NBR 15220-1, 2005

2.4 Coberturas

Toda área externa de uma edificação é composta por diversos componentes, como paredes, telhados, portas e janelas, que desempenham um papel fundamental ao oferecerem proteção contra as variações climáticas do meio externo, como temperatura, radiação solar e umidade. Ao compreender os processos físicos que ocorrem na envoltória e as propriedades dos materiais utilizados em cada componente, é possível obter informações sobre a energia térmica e, conseqüentemente, o desempenho térmico tanto de cada elemento individual quanto de toda a edificação.

Segundo Dominguez et al (1992), as coberturas têm uma importância crucial nas edificações, pois é através delas que a casa obtém proteção contra interferências externas, como chuva, vento, sol e outros elementos. Através do isolamento térmico, impede-se que a umidade proveniente tanto do ambiente externo quanto interno afete as paredes. Esse efeito é alcançado devido ao material utilizado, que mantém uma temperatura equilibrada nos espaços, evitando extremos de frio ou calor, mesmo em locais climatizados, regiões frias ou com alta incidência de chuvas.

Além disso, o isolamento térmico também previne qualquer forma de infiltração. No entanto, essa proteção está diretamente ligada às propriedades térmicas dos elementos que compõem a cobertura, os quais podem criar condições internas menos favoráveis do que o ambiente externo. Dessa forma, as coberturas devem ser eficientes em diversos aspectos, como desempenho estrutural, térmico, acústico, impermeabilidade, resistência a incêndios, entre outros.

A inclinação do telhado está diretamente ligada ao tipo de cobertura empregada e a atuação do vento na região, atentando principalmente para o melhor escoamento das águas pluviais, impedindo a transmissão de umidade para o interior do imóvel.

Em lugares muito quentes como o nordeste brasileiro, uma boa inclinação aliada a uma altura considerável do telhado, ameniza a temperatura interna da edificação. Nesses lugares é importante a utilização de um BEIRAL amplo – parte saliente de um telhado que protege a edificação do sol e da chuva.

Segundo (Buzar) para um conforto térmico satisfatório as telhas devem ser utilizadas em coberturas com inclinação de 15% a 35%, dependendo do fator de transmitância térmica de cada telha.

2.5 Desempenho térmico de telhas

O grande fator que define o desempenho térmico de uma telha está ligado às propriedades do material que esta telha é feita, sua espessura e principalmente da coloração da sua superfície.

A eficiência térmica dos telhados é diretamente influenciada pelas condições climáticas da região onde a construção é realizada, pelas propriedades dos materiais que compõem a estrutura do telhado, sua coloração e as espessuras dos materiais do sistema de cobertura. Um estudo conduzido por Silveira et al. (2004) revelou que as coberturas estão mais expostas à radiação solar em comparação às paredes, recebendo uma média de 12 horas de exposição solar ao longo do ano. Já as paredes, por sua vez, recebem apenas de 5,5 a 6 horas de radiação térmica direta, especialmente em latitudes mais altas.

Durante o verão, a intensidade da radiação solar que atinge as telhas se torna uma preocupação, especialmente em edificações de baixo custo onde as espessuras dos componentes do sistema de cobertura tendem a ser mais econômicos, e conseqüentemente, mais finos. Essa radiação solar é convertida em energia radiante infravermelha ao entrar em contato com a edificação e seu entorno, resultando no aumento da temperatura interna. Durante o inverno, os ganhos de calor solar e interno mantêm a temperatura do ar interno mais alta do que a temperatura externa, mas é o telhado que causa as maiores perdas térmicas. Esse fenômeno é particularmente evidente em noites com céu claro, quando o resfriamento radiativo faz com que a superfície externa do telhado fique mais fria do que o ar externo.

De acordo com Givoni (1981), a influência da radiação solar pode ser controlada pela escolha da cor da telha, o que, por sua vez, afeta o desempenho térmico da edificação. Parte da radiação solar absorvida é convertida em calor e transmitida para o interior da edificação.

Para Oliveira et al, (2016), telhado de fibrocimento é o material de cobertura mais barato e possui uma grande diversidade de aplicações como habitações de interesse social, instalações rurais, galpões industriais e obras de infraestrutura, em comparação a diversos sistemas disponíveis no país com outros tipos de telhas no mercado brasileiro.

Simioni et al. (2003) realizaram análises de desempenho térmico de coberturas por meio de simulações computacionais, com o objetivo de fornecer orientações aos profissionais da construção civil na seleção adequada do tipo de cobertura. Em uma dessas simulações, investigaram o impacto da cor em telhas de fibrocimento com diferentes níveis de absorvância, levando em consideração também uma laje de concreto de 10 cm e um reboco de 2 cm. Foi observada uma diferença máxima de aproximadamente 6°C na temperatura superficial interna entre as telhas, considerando diferentes valores de absorvância ($\alpha = 0,2$ e $\alpha = 0,8$).

2.6 Normas brasileiras

No Brasil, diversas pesquisas têm sido conduzidas para analisar e debater as implicações das recomendações presentes nos projetos de normas existentes. Um exemplo é o estudo realizado por Pereira et al. (2005), no qual foram discutidas as recomendações para o projeto arquitetônico no âmbito do Projeto de Norma de Desempenho Térmico de Edificações de Interesse Social. Essa discussão foi embasada em estudos de caso e simulações realizadas na cidade de Belo Horizonte (MG).

As normas NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575-5 (ABNT, 2013) são as principais regulamentações para o desempenho térmico de estruturas. A norma NBR 15220 (ABNT, 2005), intitulada "Desempenho Térmico de Edificações". A norma está organizada em cinco partes, seguindo o formato estabelecido pela ABNT, com o objetivo de otimizar o desempenho térmico das edificações por meio de uma melhor adequação ao clima. São elas:

- Parte 1: Definições, símbolos e unidades;
- Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar de elementos e componentes de edificações;
- Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- Parte 4: Medição da resistência térmica e condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- Parte 5: Medição da resistência térmica e condutividade térmica em regime estacionário pelo método fluximétrico.

É da parte 2 da norma que se extrai grande parte dos dados para este estudo através das tabelas das propriedades térmicas dos materiais, as tabelas para a definição dos fatores de resistência térmica superficial e exemplos de cálculos.

A parte 3 da norma estabelece recomendações de projeto específicas para habitações unifamiliares, levando em consideração a zona bioclimática em que a edificação está situada. O território brasileiro é dividido em oito zonas climáticas e essa parte da norma fornece diretrizes técnicas e construtivas para otimizar e classificar o desempenho térmico das edificações nessas diferentes zonas.

Para a classificação da eficiência térmica dos sistemas de cobertura, a NBR 15575 (ABNT, 2013) possui a tabela mais importante para este estudo em seu anexo I na tabela I.4 onde são classificadas as transmitâncias térmicas dos sistemas de cobertura em função da sua zona bioclimática, a coloração da superfície da cobertura e a própria transmitância térmica encontrada.

2.7 Transmitância térmica

O coeficiente de transferência de calor, denotado por U (unidade: W/(m²K)), é uma medida da resistência térmica total inversa, calculada pela equação (1):

$$U = 1/RT \quad (1)$$

Onde:

U – Transmitância térmica

RT – Resistência térmica do sistema

A resistência térmica total é chamada de RT (unidade: (m²K)/W), que corresponde à soma dos valores de resistência térmica de uma classe de elementos ou componentes, calculada com a equação (2), incluindo resistência de superfície interna e externa da tabela abaixo:

$$RT = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (2)$$

Onde:

RT – Resistência térmica do sistema

R_{se} – Direção do fluxo de calor externo

R_t – Resistência térmica dos materiais

R_{si} – Direção do fluxo de calor interno

Tabela 1 – Resistência térmica superficial interna e externa

R _{si} (m ² .K)/W			R _{se} (m ² .K)/W		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
⇔	— ↑	— ↓	⇔	— ↑	— ↓
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: ABNT, NBR 15220, 2003

Para determinar essas resistências, recomenda-se usar valores obtidos por meio de mensurações feitas em testes padronizados sempre que possível. Porém, também é possível calcular valores com fórmulas específicas para cada fração de material homogêneo. O cálculo da resistência térmica requer informações como a espessura do material (representada por "e" e medida em metros) e a sua condutividade térmica. Essas informações são essenciais para determinar o desempenho térmico de um elemento ou componente construtivo, permitindo avaliar a sua capacidade de transferir calor.

A condutividade térmica, representada pelo símbolo λ (unidade: W/(mK)), é uma propriedade física de um material homogêneo e isotrópico que descreve o fluxo constante de calor através dele quando sujeito a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro. Essa propriedade é utilizada para caracterizar a capacidade de um material em conduzir o calor calculada através da equação (3):

$$R_t = (e / \lambda) + R_{ar} \quad (W / m^2 \times ^\circ C) \quad (3)$$

Onde:

R_t – Resistência térmica dos materiais

λ - Condutividade térmica do material

e - espessura da camada do material

R_{ar} – Resistência da câmara de ar

Tabela 2 – Tabela de propriedades

Anexo D (informativo)

Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico de algumas paredes e coberturas

Tabela D.1 - Propriedades térmicas dos materiais utilizados nos componentes da tabela D.3

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Cerâmica	1600	0,90	0,92
Argamassa de emboço ou assentamento	2000	1,15	1,00
Concreto	2400	1,75	1,00

Tabela D.2 - Propriedades térmicas dos materiais utilizados nos componentes da tabela D.4

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Cerâmica	2000	1,05	0,92
Fibro-cimento	1900	0,95	0,84
Madeira	600	0,14	2,30
Concreto	2200	1,75	1,00
Lâmina de alumínio polido ($\epsilon < 0,2$)	2700	230	0,88
Lã de vidro	50	0,045	0,70

Fonte: ABNT, NBR 15220, 2005

Recomenda-se usar o termo "condutividade térmica aparente" para materiais porosos onde a transferência de calor ocorre por condução, convecção e radiação.

Este termo leva em consideração a natureza porosa do material e as diferentes formas de transferência de calor existentes.

Para situações de calor, a norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005), no item 5.3.2, diz que a resistência térmica das câmaras de ar ventiladas deve ser igual a resistência das câmaras de ar não ventiladas, conforme tabela 3.

Tabela 3 – Resistência térmica de câmaras de ar

Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura maior que a espessura:

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar cm	Resistência térmica R_{ar} $m^2.K/W$		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
		⇌	⇌ 	⇌
Superfície de alta emissividade $\varepsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\varepsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61

Notas:
 1 ε é a emissividade hemisférica total.
 2 Os valores para câmaras de ar com uma superfície refletora só podem ser usados se a emissividade da superfície for controlada e previsto que a superfície continue limpa, sem pó, gordura ou água de condensação.
 3 Para coberturas, recomenda-se a colocação da superfície refletora paralelamente ao plano das telhas (exemplo C.6 do anexo C); desta forma, garante-se que pelo menos uma das superfícies - a inferior - continuará limpa, sem poeira.
 4 Caso, no processo de cálculo, existam câmaras de ar com espessura inferior a 1,0 cm, pode-se utilizar o valor mínimo fornecido por esta tabela.

Fonte: ABNT, NBR 15220, 2005

Para determinar as resistências térmicas de câmaras de ar, são apresentados valores específicos conforme as normas estabelecidas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) em 2005. Essas normas fornecem diretrizes para o cálculo e a medição das propriedades térmicas de materiais e componentes construtivos, contribuindo para a avaliação e o projeto adequado do desempenho térmico em edificações.

Depois de encontrar o valor da transmitância térmica, cada sistema teve seu desempenho classificado em Mínimo, Intermediário e Superior pela tabela 1.4 do anexo 1 da NBR 15575-5 de 2013, conforme tabela 5.

Mas esta classificação tem de levar em consideração o valor da absorvância " α " dos materiais empregados nos sistemas de coberturas em comparação. A absorvância solar é um índice que representa a quantidade de calor que uma superfície opaca absorve quando sujeita à radiação solar. Este índice está tabelado no Projeto 02:135.07-001/2 e classifica algumas superfícies de materiais usados em coberturas e algumas cores, conforme tabela 4.

Tabela 4 – Absortância dos materiais

Tabela B.2 - Absortância (α) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade (ϵ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas)

Tipo de superfície	α	ϵ
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25	0,25
Calação nova	0,12 / 0,15	0,90
Concreto aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro	0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro	0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98	0,90 / 0,98
Vidro incolor	0,06 / 0,25	0,84
Vidro colorido	0,40 / 0,80	0,84
Vidro metalizado	0,35 / 0,80	0,15 / 0,84
Pintura:		
Branca	0,20	0,90
Amarela	0,30	0,90
Verde clara	0,40	0,90
"Alumínio"	0,40	0,50
Verde escura	0,70	0,90
Vermelha	0,74	0,90
Preta	0,97	0,90

Fonte: ABNT, NBR 15220, 2005

Tabela 5 – Classificação de desempenho em relação à transmitância térmica

Tabela I.4 – Critérios e níveis de desempenho de coberturas quanto à transmitância térmica

Transmitância térmica (U) W/m ² K					
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8 ¹		Nível de desempenho
U ≤ 2,3	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$	$\alpha^a \leq 0,4$	$\alpha^a > 0,4$	M
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3 FV	U ≤ 1,5 FV	
U ≤ 1,5	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$	$\alpha^a \leq 0,4$	$\alpha^a > 0,4$	I
	U ≤ 1,5	U ≤ 1,0	U ≤ 1,5 FV	U ≤ 1,0 FV	
U ≤ 1,0	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$	$\alpha^a > 0,4$	$\alpha^a > 0,4$	S
	U ≤ 1,0	U ≤ 0,5	U ≤ 1,0 FV	U ≤ 0,5 FV	

^a Na zona bioclimática 8 também estão atendidas coberturas com componentes de telhas cerâmicas, mesmo que a cobertura não tenha forro.

NOTA O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220-2.

Fonte: ABNT, NBR 15575, 2021

Tabela 6 - Condições de ventilação para câmara de ar

Tabela 1 — Condições de ventilação para câmaras de ar

Posição da câmara de ar	Câmara de ar	
	Pouco ventilada	Muito ventilada
Vertical (paredes)	$S/L < 500$	$S/L \geq 500$
Horizontal (coberturas)	$S/A < 30$	$S/A \geq 30$
Onde: S é a área total de abertura de ventilação, em centímetros quadrados; L é o comprimento da parede, em metros; A é a área da cobertura.		

Fonte: ABNT, NBR 15220, 2005

A transmitância térmica, também conhecida como coeficiente de transferência de calor, é uma medida da quantidade de calor que atravessa uma camada de um determinado material com uma determinada espessura, quando há uma diferença de temperatura de um grau Celsius entre as duas faces. Essa medida reflete a capacidade de um material em transferir calor.

A tabela 7, retirada da NBR 15575 (ABNT, 2021) é usada para classificar de forma simplificada o desempenho térmico de coberturas para situações de verão em que o fluxo de calor é descendente. Faz-se uma leitura da temperatura do ambiente externo e uma leitura do ambiente interno, identifica-se a zona bioclimática do local estudado, que neste estudo, a cidade de Goiânia -GO está situada na zona 06 e classifica sua eficiência na tabela 7.

Tabela 7 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Critério – Valores máximos de temperatura

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
I	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^\circ \text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1\text{o C})$
S	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^\circ \text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2\text{o C})$
$T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,max}$ 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 à edificação, em graus Celsius; NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.		

Fonte: ABNT, NBR 15575, 2021

3. METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada no município de Goiânia no Estado de Goiás, nos bairros Jardim Vitória e Parque das Laranjeiras. Os dados foram coletados em maio de 2023, de edificações expostas às condições solares em horários próximos de 12h00. Foram coletadas informações do clima no momento da leitura de forma que isso não se tornou uma variável e assim foram coletadas informações de temperatura interna e externa das coberturas, utilizando o termômetro digital da figura.

Figura 4 – Termômetro digital utilizado no trabalho.



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Foram investigados três tipos de sistemas de cobertura compostos por três tipos de telhas diferentes: telha de concreto, fibrocimento e isotérmica. As coberturas com telha de concreto, fibrocimento e isotérmica têm características diferentes em relação à condutividade térmica e espessura dos materiais utilizados.

A telha de concreto da figura 5 possui uma espessura de 10 mm e uma condutividade térmica média de 1,5 W/mK. Essa telha tem boa resistência mecânica e é relativamente pesada em comparação com outros tipos de telhas.

Figura 5 - Telha de concreto



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

A telha de fibrocimento da figura 6 possui espessura de 6 mm e uma condutividade térmica média de 0,25 W/mK. É uma telha leve e resistente à umidade, porém pode ser frágil e quebrar facilmente em caso de impactos.

Figura 6 - Telha de fibrocimento



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

A telha isotérmica da figura 7 é uma telha composta por camadas de materiais isolantes, neste caso, o poliestireno, entre duas camadas metálicas de zinco. Sua espessura é de 20 mm e a condutividade térmica é de 0,05 W/mK. É uma telha leve e eficiente em termos de isolamento térmico, mas pode ser mais cara do que outros tipos de telhas.

Figura 7 - Telha isotérmica



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

As leituras foram realizadas num local onde foi possível acessar a cobertura com segurança e facilidade. Foi escolhida uma área representativa da edificação, que não estava sombreada ou protegida de alguma forma, para que as leituras fossem mais precisas.

Após a coleta dos dados, estes foram lançados em uma planilha do Excel para elaboração de um estudo comparativo de valores. Os dados extraídos foram analisados por dois métodos de cálculo para avaliar o desempenho térmico de cada sistema.

3.1. Método 1

O primeiro método para classificar o desempenho térmico de sistema de cobertura foi seguindo a NBR 15220 (ABNT, 2005) através das propriedades e espessuras dos materiais utilizados em cada sistema de cobertura.

O primeiro passo para encontrar a transmitância térmica do sistema de cobertura é encontrando o “ R_t ” (resistência térmica) de cada elemento que compõe o sistema de cobertura através da equação 1. O lambda “ λ ” representa a condutividade térmica do material, o “ e ” representa a altura do corte transversal do material e o “ R_{ar} ” é o valor adotado para representar a parcela de contribuição da câmara de ar¹ entre a telha e a laje.

Em seguida, foi calculada a resistência térmica do ambiente através da equação 2 para determinar o “ R_T ” (resistência térmica global) que é encontrado através da soma do “ R_t ”, o

¹ Conforme NBR 12220-2 (ABNT,2005 p.4) - **5.3.2 Em condições de verão (ganho de calor)**
A resistência térmica da câmara de ar ventilada deve ser igual à da câmara de ar não ventilada e obtida da tabela B.1 (Anexo B- p.8)

“Rsi” que é o valor adotado, representando a direção do fluxo de calor interno, e o “Rse” que é a direção do fluxo de calor externo, encontrados na tabela 2.

Depois de determinar o “RT”, é possível determinar a transmitância térmica “U” usando a equação 3.

Após encontrar o valor da transmitância térmica, cada sistema teve seu desempenho classificado pela tabela 5 entre Mínimo, Intermediário e Superior.

3.1.1 Sistema de cobertura com telha de concreto.

Para realizar o cálculo de transmitância térmica no sistema de cobertura com telha de concreto, foram mensuradas as telhas de concreto em 10 milímetros e a laje em 12 centímetros. Como são compostas pelo mesmo material, a condutividade térmica de ambos os materiais é de 1,75 W/mk. De acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2005) em seu item 5.3.2, em situações de verão, deve-se considerar o mesmo valor de câmaras de ar não ventiladas, para câmaras de ar ventiladas. Como a emissividade do telhado de concreto é maior que 0,8 e a câmara de ar é maior que 5 cm, ao consultar a tabela 3, adotamos o valor de 0,21 para “Rar”. Como o fluxo de calor em situações de verão é descendente, segundo a tabela 1 os valores para “Rsi” e “Rse” são respectivamente, 0,17 e 0,04. Contudo, determinamos o “U” no valor de 2,023 W/m²k.

3.1.2 Sistema de cobertura com telha de fibrocimento. Seguindo o mesmo roteiro, a telha de fibrocimento mediu 6 milímetros de espessura e a laje, 12 centímetros. A condutividade térmica da telha de fibrocimento possui 0,95 W/mk e a laje de concreto, 1,75 W/mk. Os valores de “Rar”, “Rsi” e “Rse” foram mantidos os mesmos nos valores de 0,21, 0,17 e 0,04. O valor da transmitância térmica “U” encontrada foi de 2,020 W/m²k.

3.1.3 Sistema de cobertura com telha isotérmica.

Também seguindo o mesmo roteiro de cálculos, as espessuras da telha e da laje foram de 20 milímetros e 13 centímetros, respectivamente. A condutividade térmica da telha isotérmica é de $0,039 \text{ W/mk}$ e a condutividade térmica da laje é de $1,75 \text{ W/mk}$. Os valores de “ R_{ar} ”, “ R_{si} ” e “ R_{se} ” foram mantidos os mesmos nos valores de 0,21, 0,17 e 0,04. O valor da transmitância térmica “ U ” encontrada foi de $0,992 \text{ W/m}^2\text{k}$.

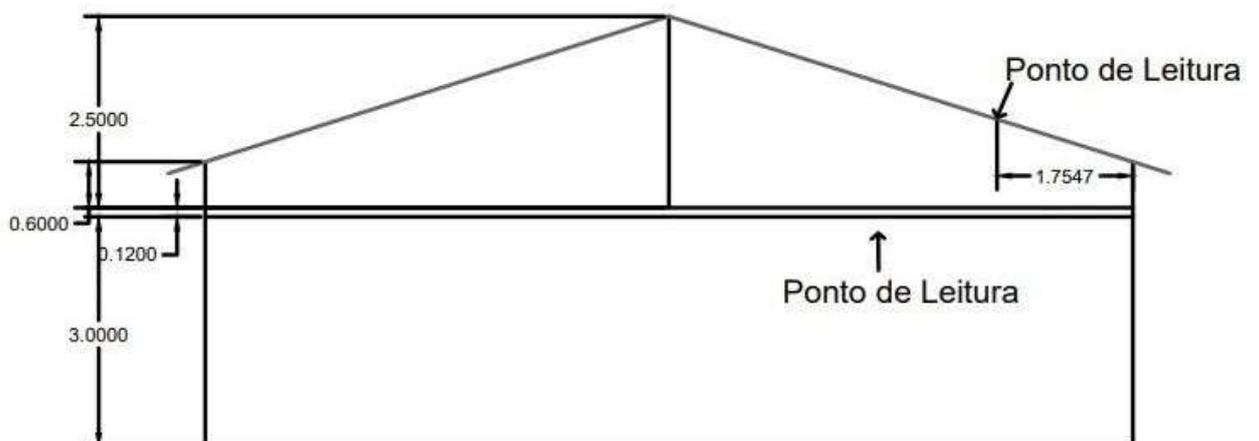
3.2. Método 2

O segundo método para classificar o desempenho térmico de um sistema de cobertura foi através de medições de temperatura externa e temperatura interna para poder comparar a eficiência de cada sistema de cobertura.

3.2.1. Sistema de Cobertura com telha de concreto

Foram coletados os dados de temperatura externa e interna conforme a figura 8 e figura 9, discriminados na tabela 8.

Figura 8 - Detalhamento do sistema de cobertura com telha de concreto



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Figura 9 –Medições de temperatura do sistema de cobertura com telha de concreto



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Tabela 8 – Medições de temperatura da cobertura com telha de concreto.

SISTEMA DE COBERTURA COM TELHA DE CONCRETO			
	TEMP. AMBIENTE - °C	HUM. %	HORA
EXTERNO	29,4	74	12:00
INTERNO	28,5	72	12:02
DIFERENÇA	0,9	--	--

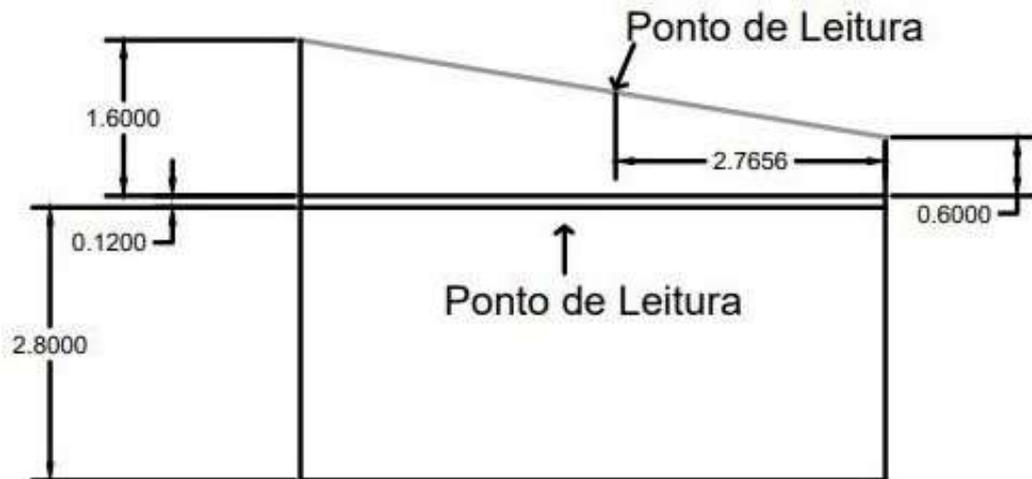
Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

A temperatura externa foi medida em 29,4°C enquanto a interna foi medida em 28,5 °C, apresentaram uma diferença de temperatura de 0,9°C.

3.2.2. Sistema de Cobertura com telha de fibrocimento

Foram coletados os dados de temperatura externa e interna conforme a figura 10 e figura 11, discriminados na tabela 9.

Figura 10 - Detalhamento do sistema de cobertura com telha de fibrocimento



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Figura 11 – Medição de temperaturas da cobertura com telhas de fibrocimento.



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Tabela 9 – Medições de temperatura da cobertura com telha de fibrocimento.

SISTEMA DE COBERTURA COM TELHA DE FRIBROCIMENTO			
	TEMP. AMBIENTE - °C	HUM. %	HORA
EXTERNO	30,2	72	12:11
INTERNO	29,6	69	12:13
DIFERENÇA	0,6	--	--

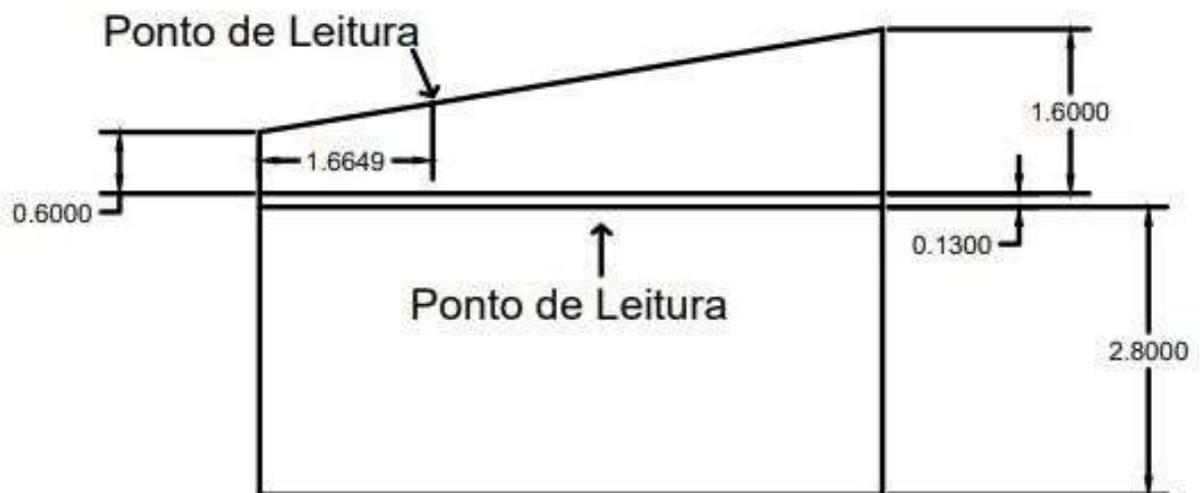
Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

A temperatura externa foi medida em 30,2°C enquanto a interna foi medida em 29,6°C, apresentaram uma diferença de temperatura de 0,6°C.

3.2.3. Sistema de Cobertura com telha de isotérmica

Foram coletados os dados de temperatura externa e interna conforme a figura 12 e figura 139, discriminados na tabela 10.

Figura 12 - Detalhamento do sistema de cobertura com telha isotérmica



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Figura 13 – Medição de temperaturas da cobertura com telhas isotérmicas.



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Tabela 10 – Medições de temperatura da cobertura com telha isotérmica.

SISTEMA DE COBERTURA COM TELHA ISOTÉRMICA			
	TEMP. AMBIENTE - °C	HUM. %	HORA
EXTERNO	32,2	69	12:23
INTERNO	29,9	62	12:26
DIFERENÇA	2,3	--	--

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

A temperatura externa foi medida em 32,2°C enquanto a interna foi medida em 29,9°C, apresentaram uma diferença de temperatura de 2,3°C.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Método 1

A tabela abaixo foi criada para resumir todos os dados coletados de cada sistema, calcular o valor de suas transmitâncias térmicas e classificar de acordo com os critérios da NBR 15575 (ABNT, 2021).

A tabela 11 apresenta todos os dados necessários para a determinação da transmitância térmica de um sistema de cobertura. Suas colunas são respectivamente, o sistema analisado, cada material que pertence a este sistema, sua condutividade térmica, espessura, resistência térmica interna, resistência térmica externa, resistência térmica da câmara de ar, a transmitância térmica do sistema, qual critério adotado para ser classificado e sua classificação.

Tabela 11 – Resultados e classificações pelo método 1.

SIST. COBERTURA	Material	λ	e (m)	Rsi	Rse	Rar	Rt ¹	RT ²	U ³	lim. NBR	Situação
CONCRETO	TELHA	1.75	0.01	0.17	0.04	0.21	0.284	0.494	2.023	U ≤ 1,5	Ñ ATENDE
	LAJE	1.75	0.12								
FIBROCIMENTO	TELHA	0.95	0.006	0.17	0.04	0.21	0.285	0.495	2.021	U ≤ 1,5	Ñ ATENDE
	LAJE	1.75	0.12								
ISOTERMICA	TELHA	0.04	0.02	0.17	0.04	0.21	0.784	0.994	1.006	U ≤ 1,0	SUPERIOR
	LAJE	1.75	0.13								
Notas											
		1 -	$R_t = (e / \lambda)_{telha} + (e / \lambda)_{laje} + R_{ar}$								
		2 -	$RT = R_{si} + R_t + R_{se}$								
		3 -	$U = 1 / RT$								
LEGENDA											
		Rt -	Resistência Térmica (m ² .k/w)								
		RT -	Resistência térmica ambiente a ambiente (m ² .k/w)								
		λ -	Condutividade térmica do material (w/m.k)								
		e -	Espessura da camada do material (m)								
		Rse -	Resistência Térmica externa ((m ² .k)/w)								
		Rsi -	Resistência Térmica Camara de Ar ((m ² .k)/w)								
		Rar -	Resistência Térmica interna (m ² .k/w)								
		U -	Transmitancia termina (w/m ² k)								

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Ao analisar os resultados deste experimento, foi constatado que o sistema de cobertura com telhas de concreto não atendia os requisitos mínimos de desempenho térmico através do método de cálculo em função da transmitância térmica.

O sistema de cobertura com telha de fibrocimento também não atendeu os requisitos mínimos de desempenho térmico que eram de “U” igual a 1,5 W/m²k.

Já o sistema de cobertura com telha isotérmica atendeu muito bem os requisitos mínimos exigidos pela NBR 15575 (ABNT, 2021). Em relação à absorvidade, como o “ α ” da telha isotérmica é menor que 0,6, por se tratar de uma superfície metálica refletora, o requisito mínimo para atender a norma era “U” igual a 2,3 W/m²k, o desempenho intermediário era para resultados até 1,5 W/m²k e para resultados menores ou iguais a 1 W/m²k, a tabela da norma classifica como desempenho superior. O resultado encontrado foi 1,0057 W/m²k, portanto, seu desempenho foi superior.

4.2 Método 2

Para a realização do método 2, foi aferida a temperatura ambiente com um termômetro digital. Também foi aferida a temperatura da superfície da telha e a umidade relativa do ar como mostra a tabela 12.

Tabela 12 – Resultados e classificações pelo método 2.

Análise dos resultados obtidos a partir das medições realizadas				
Sistemas de Cobertura	Nível de desempenho	Critério	Desempenho	Diferença
		Zona 1 a7		
Concreto	Mínimo	$T_{i,máx} \leq T_{e,máx}$.	28,5 °C ≤ 29,4 °C	0,9 °C
Fibrocimento	Mínimo	$T_{i,máx} \leq T_{e,máx}$.	29,6 °C ≤ 30,2 °C	0,6 °C
Isotermica	Intermediário	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 2^\circ \text{C})$	29,9 °C ≤ 32,2 °C	2,3 °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.
 $T_{i,mín}$. é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.
 $T_{e,mín}$. é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.
 NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.
 Goiânia está situada na zona bioclimática 6 (CDFHI)

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Como descrito na tabela 7, os critérios de avaliação quanto ao desempenho térmico de um sistema de cobertura para locais situados entre a zona bioclimática 1 até 7 consideram o requisito mínimo para situações em que a temperatura interna ambiente é inferior à temperatura

externa ambiente, como a NBR 15575 (ABNT, 2021) estabelece na tabela 4. Para que o desempenho seja considerado intermediário, o sistema teria que alcançar uma diferença de 2°C e para ser classificado como superior, esta diferença de temperatura teria que possuir, no mínimo, 4°C de diferença.

Como a diferença para o sistema de cobertura com telhas de concreto foi de $0,9^{\circ}\text{C}$, o sistema de cobertura com telhas de fibrocimento teve uma diferença de $0,6^{\circ}\text{C}$ e o sistema de cobertura com telhas isotérmicas teve uma diferença de $2,3^{\circ}\text{C}$. Todos os resultados foram positivos e, conseqüentemente, todos os sistemas alcançaram os requisitos mínimos de desempenho térmico, porém, somente o sistema com telha isotérmica conseguiu alcançar uma diferença de temperatura entre 2°C e 4°C , classificando-se como desempenho intermediário pelo método 2.

5. CONCLUSÃO

Após análise, constatou-se que durante os períodos com temperatura superior a 20°C , classificados como dias de temperatura elevada, a telha isotérmica apresentou um desempenho significativamente superior em relação às demais, de acordo com os dois métodos empregados neste estudo, ao proporcionar uma redução eficiente da temperatura externa para a interna. No método 1, foi classificada com desempenho superior, e no método 2, como intermediário. Dentre as opções avaliadas, a telha isotérmica demonstrou ser a mais eficiente em termos de condução de calor para o interior do local de avaliação, apresentando a menor transmitância térmica. Como a maioria das características entre os três sistemas eram parecidas, foi concluído que esta grande diferença de resultados está diretamente ligada à espessura da camada de isopor, as propriedades térmicas do isopor e o fluxo de radiação que é refletida da superfície metálica do sistema de cobertura com telha isotérmica.

O sistema de cobertura com telha de concreto e o sistema de cobertura com telha de fibrocimento foram reprovados no método 1 e atenderam as condições mínimas de desempenho térmico pelo método 2. Ao analisar a absorvidade dos telhados, constatou-se que bastaria pintar a superfície das telhas de concreto e telhas de fibrocimento na cor branca, para que tivessem seu alfa abaixo de 0.6, podendo assim, ser classificada dentro do limite mínimo de $2,3 \text{ W/m}^2\text{k}$, atendendo os requisitos mínimos de desempenho térmico exigidos pela norma.

Apesar do sistema de cobertura com telha de fibrocimento não atenderem as condições mínimas de desempenho, este é o sistema mais comum e usual ao nosso mercado construtivo brasileiro. Levantou-se a questão porque é tão usual?

Em uma análise a campo com alguns construtores alegaram a questão do valor financeiro

deste sistema. Não só pelo custo da telha fibrocimento, como também os demais materiais para a construção do sistema.

Este trabalho enfatizou a funcionalidade dos sistemas de cobertura com telhas isotermicas, concreto e fibrocimento, conforme as normas vigente de desempenho dos 3 sistemas. Não foi o intuito deste trabalho levantar custos, mas foi notorio que o sistemas de fibrocimento é o mais usual e não poderia deixar de levantar esta observação sobre o usualidade x valor financiero que impacta ao mercado constutivo brasileiro.

Foi considerado também, que a inclinação da cobertura de uma edificação é importante para o conforto térmico do usuário, protegendo contra a radiação solar, sendo que uma cobertura inclinada permite um melhor controle da entrada de radiação solar direta em um edifício. Com uma inclinação adequada, é possível reduzir a quantidade de luz solar direta que penetra no interior da edificação, minimizando o aquecimento excessivo nos ambientes e proporcionando uma temperatura mais confortável.

Melhora o desempenho de isolamento térmico, pois uma cobertura inclinada oferece mais espaço para a instalação de materiais isolantes, como lã de vidro, espuma de poliuretano ou poliestireno expandido. Isso ajuda a reter o calor no interior do edifício durante o inverno e a evitar a entrada de calor excessivo durante o verão, contribuindo para um ambiente interno mais agradável.

Portanto, a inclinação da cobertura desempenha um papel crucial no conforto térmico do usuário, proporcionando proteção contra a radiação solar, melhor isolamento térmico, bom escoamento da água da chuva e redução do acúmulo de sujeira. Todos esses fatores contribuem para um ambiente interno mais agradável, termicamente equilibrado e confortável.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações – parte 1: Definições, Símbolos e Unidades. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5**: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 5: Requisitos para sistemas de cobertura – Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto 02:135.07-001/2**: – Desempenho Térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo de transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações – Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

A IMPORTÂNCIA das coberturas: Coberturas Eficientes. In: **A importância das coberturas: Coberturas Eficientes**. 10.11.6. 1. ed. Braga/Portugal: Prudencio Impermeabilizações, 27 ago. 2019. Disponível em: <https://prudencio.pt/pt/a-importancia-das-coberturas/#:~:text=As%20coberturas%20s%C3%A3o%20uma%20componente,de%20maior%20fragilidade%20dos%20mesmos>. Acesso em: 23 maio 2023.

AMORIM, C. N. D. et. Al. **Janela na edificação: normas e indicações para projeto**. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENTAC 2004 – São Paulo – SP, 2004.

ASHRAE. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Handbook**: fundamentals. Atlanta USA: ASHRAE, 2005.

BANSAL, N.K. et. al. Effect of exterior surface colour on the thermal performance of buildings. **Building and Environment**, v. 27, n. 1, p. 31-37, 1992.

BERDAHL, P., & BRETZ, S. E. Preliminary Survey of the solar reflectance of cool roofing materials. **Energy and buildings**, v.25, 1997.

BLANUSA, P.; GOSS, W.P.; ROTH, H.; WEITZMANN, P.; JENSEN, C.F.; SVENDSEN, S.; ELMAHDY, H. Comparison between ASHRAE and ISO thermal transmittance calculation methods. **Energy and Buildings**, v.39, p.374–384, 2007.

BRETZ, S. et al. **Practical issues for using solar-reflective materials to mitigate urban heat islands**. Atmospheric Environment. v. 32, No. 1, p.95-101, 1998.

CASTRO, A. P. A. S. **Análise da refletância de cores de tintas através da técnica espectrofotométrica**. 2002. 183p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2002.

COBERTURA de casa: quais os tipos e porquê fazer isolamento térmico. *In: Cobertura de casa: quais os tipos e porquê fazer isolamento térmico.* 10.11.6. 1. ed. Belo Horizonte/MG: 3TC Isolamento, 15 jan. 2023. Disponível em: <https://www.3tc.com.br/blog/cobertura-de-casa/>. Acesso em: 22 maio 2023.

CENGEL, Y.A.; BOLES, M.A.; **Termodinâmica**; Tradução: Antônio Pertence Júnior. – 7. Edição – Porto Alegre, p.60-62, 2013.

CENGEL, Y.A.; GHAJAR, A.J. **Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications.** 5th Edition, McGraw-Hill Higher Education, New York, 2011.

COSTA, E. C. **Capítulo 6: transmissão de calor.** In: COSTA, E. C. Física aplicada à construção: conforto térmico, 4ª edição, 1991.

DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES: Conforto térmico. **Coberturas: EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES**, Florianópolis /SC, ano 3, v. 1, n. 1, ed. 3, p. 88-90, março 2016.

FERREIRA, F. L. et al. **Medição do albedo e análise de sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP – Departamento de Engenharia de Construção civil. São Paulo, 2003.

FROTA, A. B. e SCHIFFER, S. R. **Manual do conforto térmico.** 5ª Edição – São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture.** 2ed. London: Applied Science, 1981.

GONÇALVES, O. **Normas técnicas para avaliação de sistemas construtivos inovadores para habitações.** In: Coletânea Habitare, v. 3, Normalização e certificação na construção habitacional. ROMAN, H. R.; BONIN, L.C. (Ed.). 2003.

GONZALEZ, E. et al. **Arquitetura Latino Americaca -Proyeto clima y arquitectura.** V.3, Universidade de Zulia, 1986.

LAMBERTS, R.; DUTRA,L. e PEREIRA,F.O.R.; **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ARQUITETURA**; Edição – Rio de Janeiro, p. 46; 2004.

PERALTA, G, **Desempenho térmico de telhas: Análise de monitoramento e normalização específica** Trabalho de conclusão de curso. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2016.

RIVERO, ROBERTO; **Arquitetura e Clima: Acondicionamento térmico natural.** 2ª Edição – Porto Alegre, p.58, 1986.

SILVEIRA, W.J.C. . **Habitação de interesse social em Florianópolis (SC): critério para definição de coberturas.** In: Encontro nacional sobre conforto no ambiente construído, 7º Conferência latino-americano sobre conforto e desempenho energético de edificações. 3. ed, Curitiba , 2003.

ARAÚJO, Márcio Augusto. **A moderna construção sustentável.** Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica. 2005. Disponível em: . Acesso em 22 jun. 13.

Anexo 1 – Memórial de Calculo

1. Transmitância térmica no sistema de cobertura com com telha de concreto.

Dados:

Os valores de condutividade térmica foram extraídos da Tabela 02 do anexo D da NBR 15220 (2005);

As espessuras foram medias no local com auxílio de trena e paquímetro;

De acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2005) em seu item 5.3.2, em situações de verão, deve-se considerar o mesmo valor de câmaras de ar não ventiladas, para câmaras de ar ventiladas. Como a emissividade do telhado de concreto é maior que 0,8 e a câmara de ar é maior que 5 cm, ao consultar a tabela 3, adotamos o valor de 0,21 para “Rar”;

A Resistência térmica interna e externa foram extraídas da tabela 1 deste trabalho, analisando o sentido do fluxo de calor. Como nas situações de verão o fluxo de calor ocorre de fora para dentro da edificação, foram adotados os valores de 0,17 e 0,04.

$$R_t = (\text{espessura da telha} / \text{condutividade térmica da telha}) + (\text{espessura da laje} / \text{condutividade térmica da laje}) + (\text{Resistência térmica da câmara de ar})$$

$$R_t = (0,01 / 1,75) + (0,12 / 1,75) + (0,21) = 0,284$$

$$R_T = R_t + \text{Resistência térmica interna} + \text{Resistencia térmica externa}$$

$$R_T = 0,284 + 0,17 + 0,04 = 0,494$$

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1 / 0,494 = 2,023 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

2. Transmitância térmica no sistema de cobertura com telha de fibrocimento.

Dados:

Os valores de condutividade térmica foram extraídos da Tabela 02 do anexo D da NBR 15220 (2005);

As espessuras foram medias no local com auxílio de trena e paquímetro;

De acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2005) em seu item 5.3.2, em situações de verão, deve-se considerar o mesmo valor de câmaras de ar não ventiladas, para câmaras de ar ventiladas. Como a emissividade do telhado de concreto é maior que 0,8 e a câmara de ar é maior que 5 cm, ao consultar a tabela 3, adotamos o valor de 0,21 para “Rar”;

A Resistência térmica interna e externa foram extraídas da tabela 1 deste trabalho, analisando o sentido do fluxo de calor. Como nas situações de verão o fluxo de calor ocorre de fora para dentro da edificação, foram adotados os valores de 0,17 e 0,04.

$R_t = (\text{espessura da telha} / \text{condutividade térmica da telha}) + (\text{espessura da laje} / \text{condutividade térmica da laje}) + (\text{Resistência térmica da câmara de ar})$

$$R_t = (0,006 / 0,95) + (0,12 / 1,75) + (0,21) = 0,285$$

$RT = R_t + \text{Resistência térmica interna} + \text{Resistencia térmica externa}$

$$RT = 0,285 + 0,17 + 0,04 = 0,495$$

$U = 1/RT$

$$U = 1 / 0,494 = 2,021 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

3. Transmitância térmica no sistema de cobertura com telha isotérmica.

Dados:

Os valores de condutividade térmica foram extraídos da Tabela 02 do anexo D da NBR 15220 (2005);

As espessuras foram medias no local com auxílio de trena e paquímetro;

De acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2005) em seu item 5.3.2, em situações de verão, deve-se considerar o mesmo valor de câmaras de ar não ventiladas, para câmaras de ar ventiladas. Como a emissividade do telhado de concreto é maior que 0,8 e a câmara de ar é maior que 5 cm, ao consultar a tabela 3, adotamos o valor de 0,21 para “Rar”;

A Resistência térmica interna e externa foram extraídas da tabela 1 deste trabalho, analisando o sentido do fluxo de calor. Como nas situações de verão o fluxo de calor ocorre de fora para dentro da edificação, foram adotados os valores de 0,17 e 0,04.

$R_t = (\text{espessura da telha} / \text{condutividade térmica da telha}) + (\text{espessura da laje} / \text{condutividade térmica da laje}) + (\text{Resistência térmica da câmara de ar})$

$$R_t = (0,02 / 0,04) + (0,13 / 1,75) + (0,21) = 0,784$$

$RT = R_t + \text{Resistência térmica interna} + \text{Resistencia térmica externa}$

$$RT = 0,784 + 0,17 + 0,04 = 0,994$$

$U = 1/RT$

$$U = 1 / 0,994 = 1,006 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO

Eu WILLIAN GARCIA ROCHA RA 49882

Declaro, com o aval de todos os componentes do grupo a: DENIO LOSI DE MORAIS FILHO,
PABLO CONCEIÇÃO DOS SANTOS.

AUTORIZAÇÃO

NÃO AUTORIZAÇÃO

Da submissão e eventual publicação na íntegra e/ou em partes no Repositório Institucional da Faculdade Unida de Campinas – FACUNICAMPS e da Revista Científica da FacUnicamps, do artigo intitulado: ANÁLISE COMPARATIVA DE DESEMPENHO TÉRMICO EM COBERTURAS COM TELHA DE CONCRETO, FIBROCIMENTO E ISOTÉRMICA

De autoria única e exclusivamente dos participantes do grupo constado em Ata com supervisão e orientação do (a) Prof. (a): Helen Oliveira Tenório

O presente artigo apresenta dados validos e exclui-se de plágio.

Curso: Engenharia civil. Modalidade afim construção civil



Assinatura do representante do grupo

Assinatura do Orientador (a):

Obs: O aval do orientador poderá ser representado pelo envio desta declaração pelo email institucional do mesmo.

Goiânia, 21 de Julho de 2023.