

TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM MATERIAIS PARA COBERTURA

Heat transfer in materials for covering

Guilherme Funes¹, Paulo Reis Junior², Mauro Acir Fretta³, Mari Aurora Favero Reis⁴



PALAVRAS CHAVE:

Desempenho térmico;
Transferência de calor;
Isolamento;
Conforto Térmico;
Eficiência energética;

KEYWORDS:

Thermal performance;
Heat transfer;
Isolation;
Thermal comfort;
Energy efficiency;

RESUMO: Mudanças climáticas têm influenciado no microclima dos centros urbanos e nas características das construções. O desempenho térmico dos envolventes pode interferir na eficiência energética e na sustentabilidade da edificação devido ao uso de climatização do ar. A pesquisa tem por objetivo avaliar as diferenças entre temperaturas externas e internas nos protótipos com diferentes materiais na cobertura. O manuscrito contempla uma pesquisa aplicada utilizando diferentes materiais, com e sem isolamento térmico, nas coberturas como telhas de fibrocimento, telha de cerâmica e telha metálica aplicadas em protótipos construídos com painel de madeira plastificada. No experimento foi avaliado as temperaturas dos ambientes externas e internas dos protótipos. Também, foi verificado as temperaturas nas faces externas e internas das coberturas com uso de termômetro infravermelho e termômetro ambiente. Os dados obtidos nas avaliações das temperaturas foram coletados no período de 5 dias, em três horários diferentes (10, 12 e 16 horas), organizados e analisados em planilha. Os resultados demonstraram que houve variação significativa entre as coberturas com e sem isolamento térmico. Quanto ao tipo de cobertura, o estudo conclui que a telha metálica com isolamento apresentou os melhores resultados de isolamento, reduzindo a transferência de calor do ambiente externo para interno dos protótipos.

ABSTRACT: Climate changes have influenced the microclimate of urban centers and the characteristics of buildings. The thermal performance of the surroundings can interfere with the energy efficiency and sustainability of the building due to the use of air conditioning. The research aims to evaluate the differences between external and internal temperatures in prototypes with different roof materials. The manuscript includes applied research using different materials, with and without thermal insulation, in roofs such as fiber cement tiles, ceramic tile, and metallic tile applied in prototypes built with plasticized wood panels. In the experiment, the temperatures of the external and internal environments of the prototypes were evaluated. Also, the temperatures on the external and internal faces of the roofs were verified using an infrared thermometer and an ambient thermometer. The data obtained in the temperature assessments were collected over a period of 5 days, at three different times (10, 12, and 16 hours), organized and analyzed in a spreadsheet. The results showed that there was a significant variation between the roofs with and without thermal insulation. As for the type of cover, the study concludes that the metal tile with insulation presented the best insulation results, reducing the heat transfer from the external environment to the internal environment of the prototypes.

* Contato com os autores:

Publicado em 22 de maio de 2023

¹ e-mail: funes_gui@hotmail.com (G. Funes)

Engenheiro Civil. Universidade do Contestado, Concórdia, Santa Catarina, Brasil.

² e-mail: sr.reis.paulo@gmail.com (P. Reis Junior)

Mestre, Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Civil, Sanitária e Ambiental (PMPECSA), Universidade do Contestado, Concórdia, Santa Catarina, Brasil.

³ e-mail: mauroacir@gmail.com (M. A. Fretta)

Mestre, Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Civil, Sanitária e Ambiental (PMPECSA), Universidade do Contestado, Concórdia, Santa Catarina, Brasil.

⁴ e-mail: mariaaurorafavero@gmail.com (M. A. F. Reis)

Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática (ULBRA), Professora no Programa de Pós-graduação em Sistemas Produtivos (PPGSP) e Mestrado Profissional em Engenharia Civil Sanitária e Ambiental (PMPECSA), Universidade do Contestado, Concórdia, Santa Catarina, Brasil.

1. INTRODUÇÃO

O estudo do desempenho térmico em edificações residenciais, comerciais ou industriais trata-se de área temática que vem sendo estudada à longa data (BARTHOLOMEI, 2003; ORDENES et al., 2008), aplicado à uma diversidade de situações de contexto e a uma gama de materiais e tecnologias (SILVA, Taís Perez Da et al., 2021; VIVALDINI et al., 2014). A justificativa da permanência do tema está no fato de que ações nesse sentido impactam diretamente na eficiência energética e qualidade de vida de seus ocupantes (CÂNDIDO et al., 2023; LIMA et al., 2019). Mudanças no clima, nas características das cidades e construções têm ocasionado mudanças no microclima ou “ilhas de calor” em centros urbanos, impactando diretamente no desempenho térmico das edificações. Por conta disso, em diferentes partes do mundo, pesquisas relacionam a arquitetura sustentável emergente com a conservação de energia na edificação (TALEBI et al., 2020).

Na cidade de Criciúma SC pesquisadores (CASTRO et al., 2017) investigam a influência da pavimentação urbana e os efeitos com o fenômeno no aquecimento da cidade. O estudo foi desenvolvido com propósito de desenvolver, testar e avaliar novos materiais frios para uso em pavimentação, sendo esse, na visão dos pesquisadores, o fator responsável por significativa contribuição para a ocorrência das ilhas de calor nas cidades, pois os materiais frios apresentam melhor desempenho térmico que os materiais convencionais (como asfalto e concreto).

Na Universidade de Princeton (USA) foi combinando materiais acessíveis em projeto de conforto térmico para edifícios com incidência de radiação solar, ao utilizar diferentes parâmetros para avaliar a transferência de calor nas paredes dos edifícios e índices de transferência por fontes internas de calor (THOMAS et al., 2006). As medições foram realizadas em dois complexos habitacionais, considerando a transferência de calor entre o ar interno, paredes e tetos. O resultado do estudo realizado por esses autores demonstrou que a ventilação cruzada é fundamental para manter as temperaturas internas confortáveis e pode ser realizada por aberturas no teto, proporcionando transferência de calor por convecção.

Na Itália foi realizada a avaliação do efeito de pintura reflexiva no conforto térmico em edificações (ZINZI e FASANO, 2009). Os experimentos foram realizados na periferia de Roma, com clima extremo no verão devido à alta densidade de construções. As temperaturas avaliadas com uso de espectrômetro, durante o verão de 2005 e 2006, mostraram que materiais de construção, usados por italianos caracterizam-se pela alta absorção da radiação térmica solar. Consequentemente, a alta carga de refrigeração provoca aumento significativo de energia. Estes efeitos podem ser mitigados pelo uso de material de revestimento refletor, como uma tinta branca sustentável, de alta refletância solar e inovadora (obtida com uma mistura de substâncias caseiras) aplicada em telhados. As temperaturas eram monitoradas no interior e exterior dos telhados, comparando com outras tecnologias. O estudo demonstrou que a aplicação em grande escala poderia aumentar o conforto térmico residencial no próximo verão.

Na Europa pesquisa também utiliza ferramenta de medição para avaliar microclima urbano em Basiléia, Suíça e Toulouse (França), relacionando conforto térmico externo e consumo energético nas edificações (BUENO et al., 2013). O estudo foi realizado com dados de estação meteorológica e aponta que as estações estão disponíveis para a maioria das cidades do mundo, mas geralmente estão localizadas em áreas abertas fora das cidades. Utilizando dois modelos (físico e computacional), o projeto francês ficou disponível na rede mundial de computadores para ser usado como ferramenta de previsão do clima urbano para a análise e projeto de edifícios em áreas urbanas.

No Canadá (MUKHOPADHYAYA et al., 2008), a partir da concepção de que a eficiência energética em ambiente construído depende muito do desempenho dos materiais isolantes usados na construção do

ambiente externo do edifício. A pesquisa sugere o uso de painéis de isolamento a vácuo (VIP) para o aumento da resistência térmica, melhorando a eficiência energética dos sistemas de isolamento e proporcionando economia no consumo de energia. Os autores relatam que os sistemas VIPs são pouco conhecidos e utilizados para a construção civil na América do Norte.

Nos Emirados Árabes Unidos (EAU), foi estudado o desempenho térmico de edificação religiosa conhecida como mesquita (MUSHTAHA e HELMY, 2017). Nas mesquitas o conforto térmico é proporcionado por sistema de aquecimento, ventilação e climatização artificial (HVAC), com elevada demanda de consumo de energia, resultado em aumento nas emissões de dióxido de carbono (CO₂) (MUSHTAHA e HELMY, 2017). O estudo relacionou a forma de construção com seu impacto no conforto térmico, com uso de softwares para simulações de energia. Como alternativas foi analisado o uso de dispositivos de sombreamento, isolamento térmico e ventilação natural foram aplicados em seis casos, demonstrando que o uso do design passivo não é suficiente para atingir conforto térmico, mas reduziria o consumo anual de energia em 10%. Conclui que ao integrar o sistema de condicionamento natural com a climatização artificial é possível obter uma economia anual de energia 67,5% com melhor HVAC (GAO et al., 2016).

Os estudos citados evidenciam que as ações que buscam promover conforto térmico nas edificações têm impactado diretamente na sustentabilidade energética, tanto no consumo (ANDRIC et al., 2020), como na gestão da energia elétrica uma vez que o uso de sistema de climatização artificial proporciona efeito significativo no consumo de energia elétrica (REIS et al., 2020). “No entanto, há consenso que as habitações devam proporcionar conforto e segurança a seus usuários, atendendo a suas necessidades ao longo do ciclo de vida das construções” (SORGATO et al., 2014, p. 84). Também, os objetivos para o desenvolvimento sustentável propõem que até 2030 devemos “dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética” (ONU, 2022, p. ODS 7.3). Por conta disso, nos últimos anos pesquisas realizadas em diferentes regiões no mundo têm se empenhado para ampliar o embasamento científico, a criação de normas e tecnologias em prol ao desempenho térmico para edificações sustentáveis (ANDRIC et al., 2020; HODGES et al., 2020; TALEBI et al., 2020).

Quando ao uso de sistema de climatização artificial no conforto térmico, há necessidade com intervenções na manutenção do sistema, pois a má qualidade do ar pode acarretar uma série de problemas à saúde dos ocupantes dessa edificação (CAVALCANTI et al., 2015). Nesse caso, conhecido pela OMS como “Síndrome do Edifício Doente”, os ocupantes desses ambientes podem desenvolver enfermidades, como: fadiga, infecções, irritação nos olhos e mucosas, náuseas, tonturas entre outros, como mostrou pesquisa analisando dez clientes de uma empresa especializada em climatização que avaliam a qualidade do ar interior de suas edificações. Portanto, para que haja qualidade ambiental, a instalação de equipamentos deve contemplar a manutenção preventiva, de forma planejada para que ocorra o controle da qualidade do ar interior.

Quanto aos materiais para a construção civil, o objetivo 12 trata do consumo e produção responsável, sugere “apoiar países em desenvolvimento a fortalecer suas capacidades científicas e tecnológicas para mudar para padrões mais sustentáveis de produção e consumo” (ONU, 2022, p. 12). Nesse quesito, o uso de materiais e técnicas que promovam a sustentabilidade e conforto aos ocupantes torna-se uma necessidade emergente para atender certificações e normativas em diversos países (SILVA, Arthur Santos e GHISI, 2014). Conforme os autores, a NBR 15575 (ABNT, 2021) pode estabelecer indicadores de desempenho térmico em edificações, representando os níveis mínimos que devem ser atendidos. E, ainda, pode contribuir para obter certificação de sustentabilidade (CAIXA, 2021), na categoria eficiência energética e conforto ambiental. Esta categoria apresenta como critério verificar se foram consideradas no projeto o atendimento às condições de conforto térmico estabelecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2021) (SORGATO et al., 2014).

Considerando a crescente necessidade em analisar e estudar os métodos e técnicas para auxiliar no conforto térmico nas construções, essa pesquisa foi realizada com objetivo de avaliar as diferenças entre temperaturas externas e internas nos protótipos com diferentes materiais para a cobertura para construção civil. Para atender esse objetivo, pesquisa esteve apoiada nos seguintes objetivos secundários: (i) Identificar os materiais mais utilizados nas coberturas de edificações residenciais; (ii) Avaliar a eficiência térmica nos telhados com e sem recursos de isolamento térmico; (iii) Analisar a transferência de calor nos diferentes materiais de cobertura.

2. DESEMPENHO TÉRMICO DOS MATERIAIS PARA COBERTURA

As estruturas utilizadas em coberturas podem ser de diversos materiais, tais como a telha de fibrocimento, cerâmica, barro, metálica, madeira, concreto, reciclado, polipropileno, coberturas verdes entre outros. Portanto, a coleta e monitoramento de amostras de temperatura, para vários tipos de materiais utilizados em coberturas, provavelmente, apresentaram diferentes resultados quanto ao comportamento térmico no interior das construções. Neste sentido, as amostras foram coletadas de protótipos idênticos, com diferentes tipos de materiais de cobertura. Assim, o estudo compreendeu em coletar amostras de temperatura externas (cobertura) e internas (ambiente) dos protótipos, registrando as variações térmicas simultaneamente para verificar os materiais que apresentavam melhores resultados térmicos internos.

A definição dos materiais a serem utilizados nas coberturas dos protótipos, foi realizada uma busca por pesquisas que investigaram as características físicas, aplicações, composição e representação mercadológica para esses materiais (Quadro 1).

QUADRO 1: Características técnico/científicas dos materiais aplicados nas coberturas dos protótipos				
Material	Principais Aplicações	Características Físicas	Composição	Fonte e Representante
Telha de Fibrocimento	Residências Comércios Escolas Galpões Indústrias Aviários Pocilgas Hotéis	Alta resistência Alto desempenho acústico Resistente à corrosão	Composta de cimentos e fibras sintéticas.	(JARDIM, 2011; PEDOTE e FRANCO, 2012)
Telha Cerâmica Esmaltada	Residências Escolas Hotéis Comércios	Alta resistência à flexão Baixa porosidade Resistente à absorção de água Resistente a salinidade	Oriunda da argila rica em ilita e montmorilonita Possui camada superior de pintura	(ABREU et al., 2011; JARDIM, 2011; PEDOTE e FRANCO, 2012)
Telha Metálica Galvanizada	Residências Comércios Escolas Galpões Indústrias Aviários Estruturas de grande porte	Perfil trapezoidal e ondulado. Alta resistência	Telha de aço que passa por processo de zincagem ou galvanização para proteger o aço da corrosão	(DIAS, 2011; PEDOTE e FRANCO, 2012)

Continua.

QUADRO 2: Características técnico/científicas dos materiais aplicados nas coberturas dos protótipos (Continuação)

Material	Principais Aplicações	Características Físicas	Composição	Fonte e Representante
Telhas Metálicas com Isolamento Térmico	Residências comércios Escolas Galpões Indústrias Aviários Estruturas de grande porte.	Boa performance no isolamento térmico. Alta resistência	Telha de aço que passa por zincagem ou galvanização, acompanhado de camada de EPS e Manta.	(CHRISCHON et al., 2018)
Manta de Isolamento Térmico	Residências Escolas Comércios Galpões Grandes estruturas	Comercializada em rolos Utilizada como isolante térmica e acústica. Previne isolamento.	Manta de isolamento Aluminizada nas duas faces	(PEDOTE e FRANCO, 2012)

FONTE: Adaptado das referências citadas no quadro (2021).

Os protótipos foram construídos em área experimental apropriada e os seis protótipos utilizados são idênticos quanto as dimensões, aberturas, elementos construtivos e orientação solar, variando apenas o sistema de cobertura. A distribuição dos protótipos era distribuída de forma que um protótipo não influencie outro protótipo. Portanto, a trajetória solar foi considerada, evitando o sombreamento de um protótipo no outro. Desta forma, os fluxos predominantes dos ventos na região também foram considerados e, por isso, não influenciaram de forma favorável ou desfavorável os protótipos.

Alguns dos protótipos propostos neste estudo são semelhantes quanto as coberturas de casas de emergência para famílias que vivem na América Latina. Neste sentido, coberturas em casa de emergência construída pela ONG TETO para famílias que vivem em situação de extrema pobreza na América Latina, apresentam coberturas compostas por telhas ou telhas sobrepostas a mantas térmicas (PEDOTE e FRANCO, 2012). Os dados das temperaturas demonstraram de forma qualitativa e quantitativa que a melhor eficiência no isolamento ocorreu com a combinação telha de aço zincada e manta térmica composta por lâmina de alumínio com camadas de filme de polietileno com alvéolos de ar extrudados.

Quanto às coberturas de telhas cerâmicas, muitos fabricantes passam a utilizar revestimento na superfície. Estudo anterior avalia a qualidade desse revestimento, aspectos tecnológicos, estéticos e funcionais, destacando-se os revestimentos superficiais de silicone (PEREIRA, 2006). A pesquisa não investigou a relação da pintura com o conforto térmico. Outro estudo na avaliação da temperatura superficial de telhas onduladas com pinturas cinza e marfim; plana com pintura cinza e marfim; telha de barro colonial; telha amianto e telha fresca (ABREU et al., 2011). Os testes demonstraram que a telha de barro colonial obteve maior temperatura da superfície inferior que as demais telhas.

Sobre o desempenho térmico em coberturas metálicas, pesquisa avalia diferentes tipologias de coberturas metálicas para galpões de estruturados em aço (DIAS, 2011), em conformidade com a norma NBR 15.220 (ABNT, 2003). Os resultados da pesquisa anterior demonstram que em diferentes tipologias de cobertura, o controle da ventilação natural é fator determinante no desempenho térmico, independente da condição climática.

Em síntese, a bibliografia acessada demonstra haver abrangência de dados em pesquisas anteriores sobre desempenho térmico em coberturas. Especialmente sobre as telhas sanduíches (aço galvanizado com poliestireno expandido) têm sido utilizados tanto para conforto térmico como para o acústico, sendo aplicada inclusive em envoltórios de edificações industriais (CHRISCHON et al., 2018). O estudo conclui que com este estudo se pode destacar o potencial do uso de materiais combinados (sanduíche) em coberturas e fechamentos laterais.

3. MATERIAIS E MÉTODOS APLICADOS NA AVALIAÇÃO DAS COBERTURAS

O estudo foi realizado de modo quantitativo e qualitativo (GIL, 2008; MOREIRA e ROSA, 2016), por análise documental (pesquisas anteriores e normativas), coleta e avaliação de dados experimentais.

3.1 Metodologia para execução do protótipo

Como materiais para a construção dos protótipos, como envolventes foi utilizado Madeirit Plastificado nas dimensões de 2,20 m x 1,10 m e espessura de 12 mm. Foi realizado corte das chapas conforme realizado em desenho técnico. A estrutura é ripas de madeira de pinus com dimensões 5 cm x 3 cm e 3 m de comprimento. Para a união das estruturas de madeira e placas foram utilizados e parafusos Philips, com duas polegadas no comprimento. Cada protótipo teve sua cobertura nas dimensões de aproximadamente 45 cm x 30 cm (Figura 1).

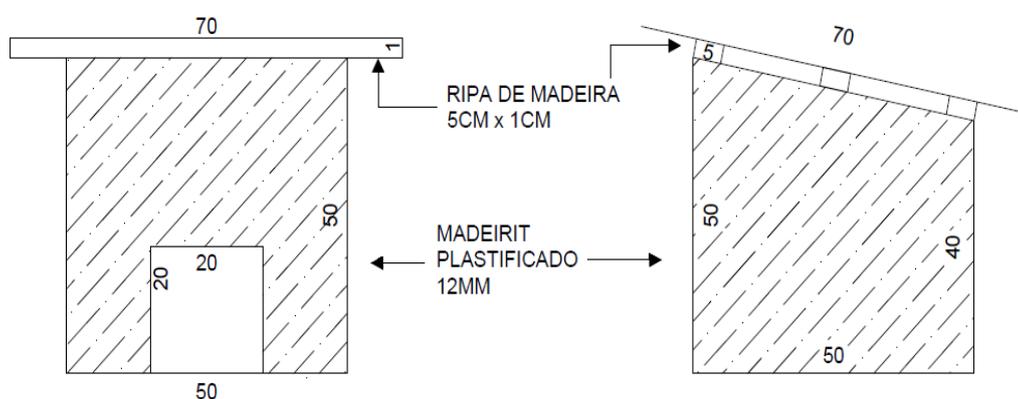


FIGURA 1: Projeto arquitetônico dos protótipos (frente e lateral).

FONTE: Autoria própria, 2021.

- Protótipo A: Cobertura metálica simples, utilizada chapa metálica galvanizada sem pintura, com dimensões de 0,70 m x 0,70 m e 0,50 mm de espessura, condutividade térmica das telhas metálicas é 52λ , no sistema internacional de unidade watt por metro-kelvin — simbologia: $W/(m \cdot K)$. As telhas tem formato de dobra ondulado, fixação com uso de parafuso Philips.
- Protótipo B: Cobertura metálica galvanizada composta de isolante térmico EPS, condutividade térmica de $0,039 \lambda$. Utilizada chapa metálica galvanizada com pintura, composta de mais uma camada de EPS e manta de proteção. A dimensão utilizada no corte da chapa para colocar no telhado é de 0,70 m x 0,70 m. Fixação feita com o uso de parafusos Philips.
- Protótipo C: Cobertura com telha fibrocimento de 6 mm, condutividade térmica de $0,65 \lambda$. Utilizada folha com tamanho comercial de 1,53 m x 1,10 m, sendo dimensionada para um novo tamanho (como no anterior), com medidas de 0,70 m x 0,70 m, fixada com o auxílio de quatro parafusos Philips.
- Protótipo D: Cobertura de fibrocimento com Manta Térmica aluminizada nas duas faces e fixada na parte inferior das telhas. A telha com dimensão de 0,70 m x 0,70 m fixada com parafusos Philips.
- Protótipo E: Cobertura com telha cerâmica esmaltada com pintura, comercializada nas seguintes dimensões: 43,0 cm x 34,9 cm x 0,7cm e condutividade térmica $0,93 \lambda$. Foram necessárias quatro unidades de telha para a cobertura do protótipo.
- Protótipo F: Cobertura de telha cerâmica esmaltada com pintura. Utilizando quatro telhas para fazer o cobrimento do protótipo de 0,70 m x 0,70 m. Inferior a camada da cobertura foi feita a aplicação da manta térmica aluminizada nas duas faces, fixadas com a própria madeira de sustentação do telhado.

Os protótipos desenvolvidos foram expostos ao Sol durante todo o período do dia, obtendo a maior incidência solar possível para conseguir obter os melhores resultados. Para evitar sombreamentos dos entornos e influência do ambiente, os protótipos foram colocados sobre pilhas de telhas de fibrocimento, todos na mesma altura do solo. Deste modo todos eram submetidos à mesma quantidade de radiação (direta e indireta).

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS NA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO

A coleta de dados foi realizada após uma pesquisa teórica e mercadológica onde foi avaliada quais materiais para cobertura são comercializados em um estabelecimento comercial de materiais para a construção civil.

Na segunda etapa foi realizado o estudo empírico, de modo experimental, para a avaliação do desempenho térmico em cada tipo de cobertura, por intermédio dos protótipos anteriormente apresentados. Para realizar essa etapa de coleta de dados, inicialmente foi avaliada a curva de incidência solar para disposição dos protótipos, de modo a obter maior incidência de radiação. Para os registros dos dados foi utilizada uma planilha eletrônica pré-programada no Microsoft Excel, planejada para três coletas de dados por dia, respectivamente nos horários 10:00 horas, 12:00 horas e 16:00 horas, durante quatro dias (do dia 12 até dia 16 do mês de novembro de 2020).

Os dados coletados em cada protótipo foram: temperatura externa do ambiente, temperatura interna de cada protótipo, temperatura do material de cada telhado na face externa e temperatura da face interna da telha. Na tabela ainda constam dados que foram adicionados como fonte de informações para complementar as características de cada modelo de telhado. Como instrumento de avaliação das temperaturas, foi utilizado um termômetro digital infravermelho da marca *Scantemp*, modelo ST-600.00, com mira laser e visor LCD iluminado e informação da temperatura em tempo real (°C e °F).

4. RESULTADOS DA PESQUISA

4.1 RESULTADO DA AVALIAÇÃO NO PERÍODO DA MANHÃ (10h)

No período dos cinco dias de avaliação a temperatura ambiente, obtida durante as medições diárias teve uma média de 30 °C às 10 horas da manhã. Na temperatura do ambiente interno, para esse horário, foi maior no protótipo com cobertura metálica sem isolamento (28,4 °C) e menor na cerâmica com isolamento (25 °C). Na cobertura de telha cerâmica com isolamento a diferença entre ambiente externo e interno foi de 5°C às 10 horas da manhã (Figura 2).

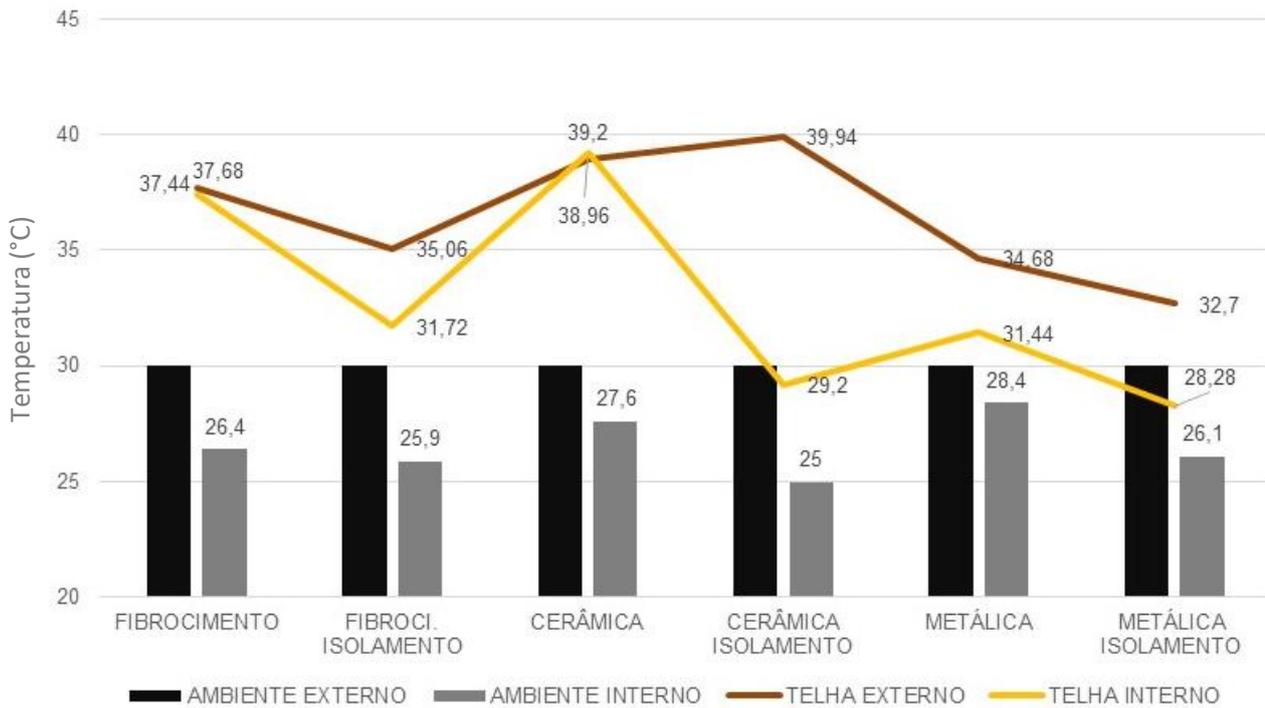


FIGURA 2: Desempenho térmico nas coberturas às 10 horas da manhã.

FONTE: Autoria própria (2021).

4.2 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO AO MEIO-DIA (12h)

No período de avaliações no horário das 12 horas, obteve-se uma média da temperatura do ambiente externo de 35,7 °C. A temperatura maior para o ambiente interno neste período foi igual nos protótipos com cobertura de fibrocimento e cerâmica sem isolamento (32,2 °C) e menor temperatura na telha metálica com isolamento (29,7 °C). Na telha metálica com isolamento a diferença de temperatura externa para interna no horário das 12 horas foi de 6 °C (Figura 3).

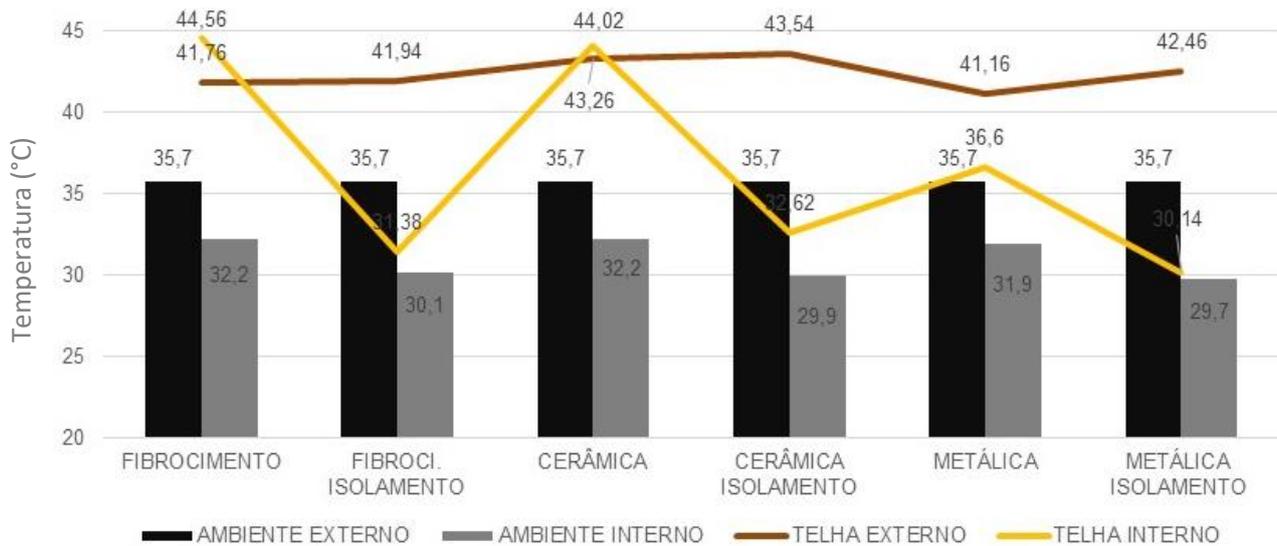


FIGURA 3: Desempenho térmico nas coberturas às 12 horas.

FONTE: Autoria própria (2021).

Quando avaliado o desempenho térmico da telha, as medições das temperaturas externas das coberturas apresentaram que as telhas cerâmicas com e sem isolamento apresentam maiores

temperaturas na sua face externa, respectivamente (43,54 °C e 43,26 °C). A telha metálica sem isolamento apresentou a menor temperatura registrada no período das 12 horas (41,16 °C). Tratando de temperatura interna da telha, a metálica com isolamento foi a que apresentou temperatura menor (30,14 °C), seguida da telha de fibrocimento com isolamento (31,38 °C).

A telha de material fibrocimento sem isolamento apresentou a temperatura interna mais alta, registrando (44,56 °C) seguida da telha cerâmica sem isolamento (44,02 °C). A diferença da temperatura externa para interna na telha metálica de isolamento foi superior a 12,5 °C, sendo referência como melhor desempenho térmico no horário de maior incidência solar. Sendo que as telhas de fibrocimento e cerâmica sem isolamento continuaram a apresentar os piores resultados.

4.3 RESULTADO DA AVALIAÇÃO NO PERÍODO DA TARDE (16h)

No período dos cinco dias de avaliação a temperatura ambiente, obtida durante as medições diárias, teve uma média de 32,4 °C às 16 horas. Na temperatura do ambiente interno, para esse horário a telha cerâmica apresentou temperatura mais elevada que as demais, com temperatura de ambiente interno de 30 °C e a menor temperatura registrada no ambiente interno foi no protótipo com cobertura metálica com isolamento (27,6 °C). A diferença de temperatura do ambiente externo para o interno na telha metálica com isolamento foi de 4,8 °C.

Quando avaliado o desempenho térmico da telha, as medições das temperaturas externas das coberturas demonstraram que a telha de fibrocimento sem isolamento possui maior temperatura na sua face superior (34,28 °C) e a telha metálica sem isolamento se destaca por possuir a menor temperatura externa (Figura 4). Nas medições de temperatura da parte inferior das telhas a que teve maior temperatura registrada foi a telha de fibrocimento e cerâmica sem isolamento com temperaturas respectivas (31,92 °C e 31,64 °C).

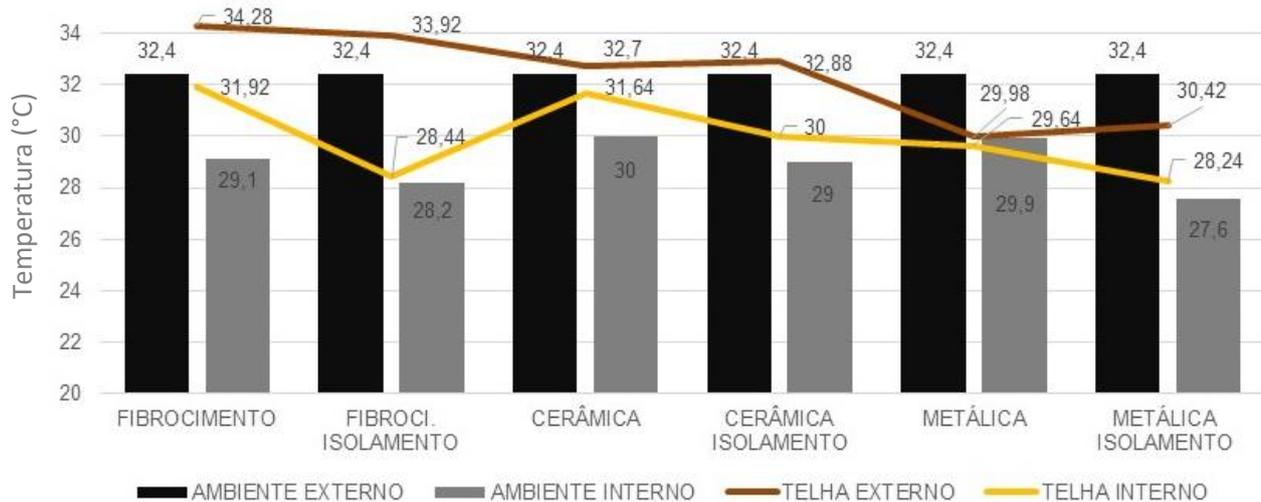


FIGURA 4: Desempenho térmico nas coberturas às 16 horas.

FONTE: Autoria própria (2021).

O protótipo com cobertura metálica com isolamento foi o que apresentou menor temperatura interna na telha (28,24 °C) e em seguida a telha de fibrocimento com isolamento (28,44 °C). A maior diferença apresentada entre a temperatura interna e externa foi registrada na telha de fibrocimento com isolamento chegando a 5,48 °C de diferença, porém em registro de menor temperatura interna a telha metálica com isolamento obteve melhor desempenho em relação às outras.

4.4 TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONDUÇÃO

A partir das diferenças de temperaturas registradas nas faces externas e internas das coberturas é possível constatar maior e menor diferença na temperatura das telhas. Essa diferença na temperatura na telha está relacionada à transferência de calor por condução. Estudos (JARDIM, 2011) indicam que do calor transferido, por intermédio da cobertura para o interior da edificação, aproximadamente 13 % são por condução. Essa diferença de temperatura foi maior nas coberturas com isolamento, demonstrando a eficácia do isolamento no desempenho térmico.

A diferença de temperatura da face externa para interna das coberturas com isolamento foi superior a 10 °C no período das 12 horas. A telha metálica com isolamento atinge, nesse horário, diferença nas médias das temperaturas de 12,32 °C. Nas telhas de fibrocimento e cerâmica sem isolamento a variação dessas temperaturas foram negativas no horário das 12 h, demonstrando que a face interna da cobertura era maior que a externa. A justificativa é que na face externa a circulação de ar contribuiu para a perda de calor por convecção. O gráfico da Figura 5 demonstra o comparativo das diferenças de temperatura externas e internas ($\Delta T = T_E - T_I$) para cada tipo de telha, nos diferentes horários.

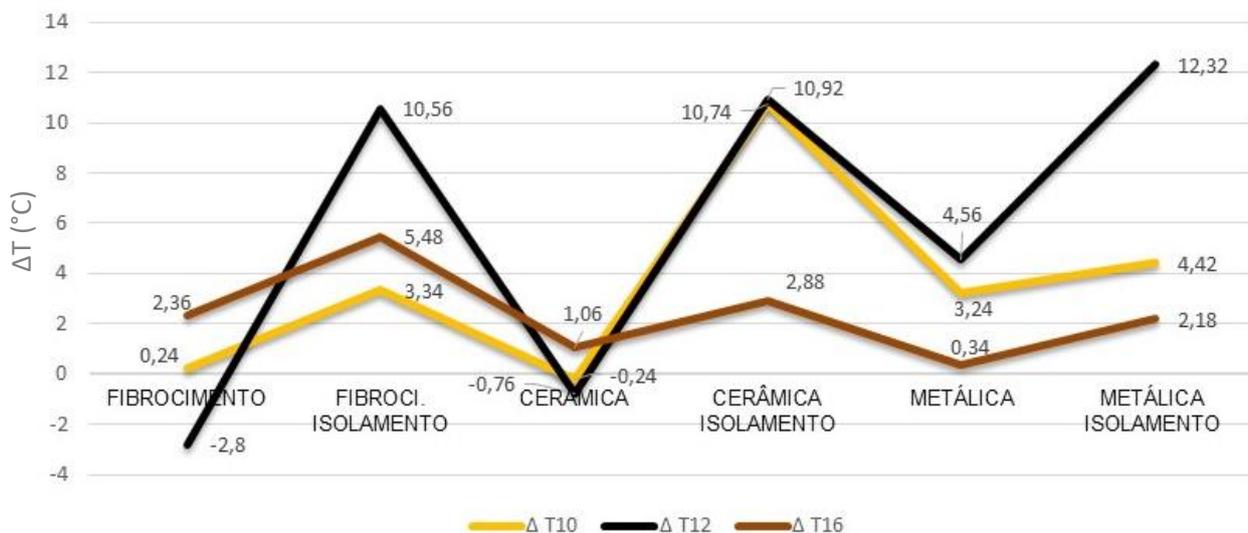


FIGURA 5: Comparativo nas Transferência de calor por condução.

FONTE: Autoria própria (2021).

4.5 TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RADIAÇÃO

A partir dos dados das temperaturas mensuradas no ambiente externo e ambiente interno nos protótipos é possível evidenciar a transferência de calor por radiação nas coberturas (Figura 6), que representa aproximadamente 87 % do calor transferido por coberturas de edificações (JARDIM, 2011). Os dados coletados demonstram que no horário das 10 horas a telha cerâmica com isolamento é a telha que menos transfere calor, com diferença nas temperaturas de 5 °C. De forma contrária, a telha metálica sem isolamento representada pelo protótipo A atinge a maior transferência de calor por radiação nesse horário.

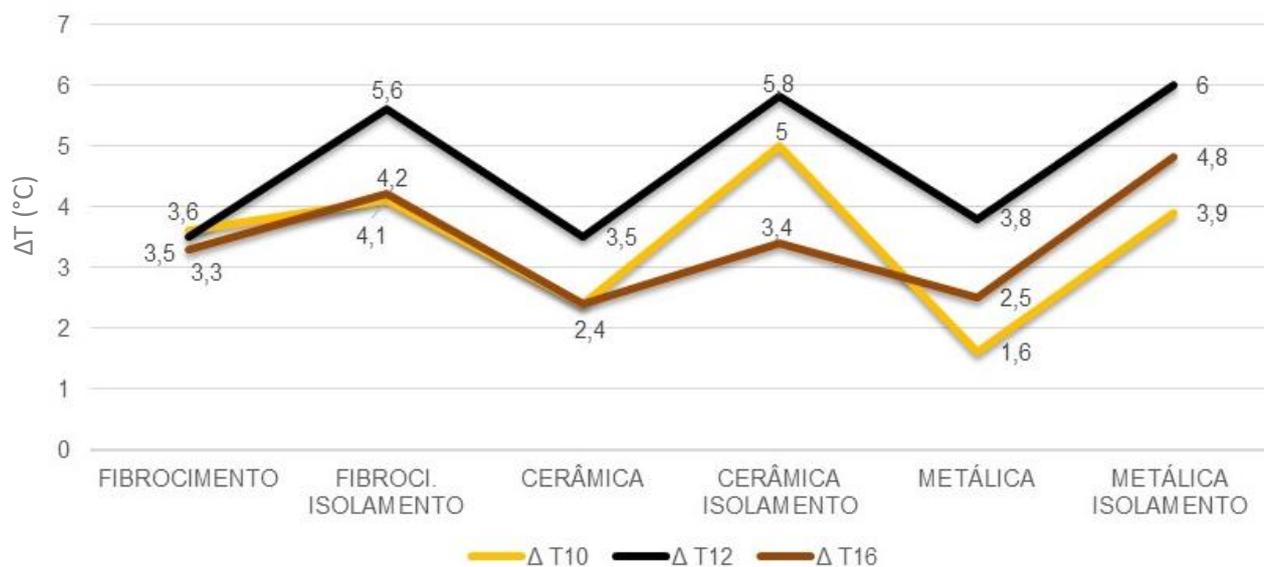


FIGURA 6: Comparativo nas transferências de calor por radiação.

FONTE: Autoria própria (2021).

No período com exposição máxima ao sol (12 h), as telhas com melhor desempenho térmico para esse tipo de transferência de calor também foram as com isolamento. A telha metálica com isolamento (Protótipo B) se destaca por apresentar maior diferença na temperatura (6 °C) no ambiente externo em relação ao ambiente interno. No período da tarde também essa cobertura se destacou no desempenho térmico por condução.

5. CONCLUSÕES

A pesquisa mercadológica documental realizada junto a um fornecedor, mostra que os materiais mais utilizados para coberturas, especialmente na construção civil é a telha de fibrocimento. A justificativa do fornecedor e pesquisadores está no custo de aquisição e de instalação dessa cobertura.

Quanto à avaliação do desempenho térmico dos materiais mais utilizados nas coberturas, a partir das medições das temperaturas coletadas nos protótipos e no ambiente, o estudo mostrou que houve diferença significativa para as transferências de calor em todos os tipos de materiais, se comparados com e sem isolamento térmico. Essa variação pode ser diferente de acordo com o horário de coleta de informações, posição solar, clima, região e principalmente do material que compõe cada cobertura.

Conclui-se também que as telhas que apresentaram menor temperatura na primeira medição, em relação às demais, foram as que apresentaram maior temperatura ao longo do dia. Desse modo, mesmo quando a temperatura já estiver em declínio, o ambiente interno se apresentava com maior temperatura em relação às demais. E a telha que apresentou maior temperatura inicial, conseqüentemente, apresenta menor temperatura no interior do protótipo, como aconteceu com a telha metálica com isolamento, aplicada no protótipo B. Neste estudo, foi a cobertura que evidenciou ser eficaz para evitar a transferência de calor por condução e radiação, especialmente no horário de incidência máxima da radiação solar (12 h).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas técnicas. **NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. . Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <www.abnt.org.br>. Acesso em: 1 fev 2020. , 2003
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-2021 - Desempenho térmico**. . Brasil: [s.n.]. Disponível em: <<https://labeec.ufsc.br/NBR15575-2020>>. Acesso em: 22 abr 2022. , 2021
- ABREU, Paulo G. De et al. **Análise termográfica da temperatura superficial de telhas**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, n. 11, p. 1193–1198, Nov 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662011001100013&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 23 fev 2021.
- ANDRIC, Ivan e KAMAL, Athar e AL-GHAMDI, Sami G. **Efficiency of green roofs and green walls as climate change mitigation measures in extremely hot and dry climate: Case study of Qatar**. Energy Reports, v. 6, p. 2476–2489, Nov 2020. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S235248472031310X>>.
- BARTHOLOMEI, Carolina. **Influência da vegetação no conforto térmico urbano e no ambiente construído**. 2003. 205 f. f. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- BUENO, Bruno et al. **Calculation of Air Temperatures above the Urban Canopy Layer from Measurements at a Rural Operational Weather Station**. Journal of Applied Meteorology and Climatology, v. 52, n. 2, p. 472–483, 1 Fev 2013. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/JAMC-D-12-083.1>>.
- CAIXA, CAIXA Econômica Federal. **Selo Casa Azul + Caixa**. . Brasil: [s.n.]. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/Downloads/selo_casa_azul/guia-selo-casa-azul-caixa.pdf>. Acesso em: 2 jun 2022. , 2021
- CÂNDIDO, Carolina Dieguez e DORNELLES, Kelen Almeida e LUKIANTCHUKI, Marieli Azoia. **Impacto da absorvância no conforto térmico em três zonas bioclimáticas**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, v. 14, p. e023003, 2023.
- CASTRO, L. C. et al. **Evaluation of the thermal performance of different cold materials for urban paving**. Ceramica, v. 63, n. 366, p. 203–209, Abr 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132017000200203&lng=en&tlng=en>.
- CAVALCANTI, André Marques et al. **Análise da qualidade do ar interno sob a abordagem da manutenção preditiva e da inovação**. Exacta, v. 13, n. 1, p. 45–54, 25 Ago 2015. Disponível em: <[http://periodicos.uninove.br/index.php?journal=exacta&page=article&op=view&path\[\]=5259](http://periodicos.uninove.br/index.php?journal=exacta&page=article&op=view&path[]=5259)>.
- CHRISCHON, Dieivase et al. **Análise do desempenho acústico de telhas sanduíche para aplicação no fechamento lateral de edificações**. 2018, Porto Alegre - RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2018. Disponível em: <https://proceedings.science/proceedings/113/_papers/87115>.
- DIAS, Alexandra da Silva. **Avaliação do desempenho térmico de coberturas metálicas utilizadas em edificações estruturadas em aço**. 2011. 92 f. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011. Disponível em: <https://www.propec.ufop.br/uploads/propec_2016/teses/arquivos/tese203.pdf>. Acesso em: 25 out 2020.
- GAO, Haitao et al. **Strengthening effect of reduced graphene oxide in steel clad copper rod**. Applied Physics A, v. 122, n. 11, p. 981, 25 Nov 2016. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00339-016-0467-z>>. Acesso em: 22 jun 2022.
- GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa** Gil, A. C. (2008). **Como Elaborar Projetos de Pesquisa (E. A. S.A. (org.); 4a). Atlas**. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- HODGES, Charles B et al. **View the full-text article online**: n. April, p. 2–3, 2020. Disponível em: <<https://er.educause.edu/articles/2020/3/the-difference-between-emergency-remote-teaching-and-online-learning%0AView>>.
- JARDIM, PATRICIA RAFAELLA SALGADO ABREU. **Desempenho térmico de coberturas: um estudo comparativo entre as telhas de material reciclado, de fibra e betume, fibrocimento e cerâmica**. 2011. 125 f. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.
- LIMA, Lincon de Carvalho et al. **Conforto térmico em espaços abertos no clima quente e úmido: estudo de caso em um parque urbano no Bioma Mata Atlântica**. Ambiente Construído, v. 19, n. 2, p. 109–127, Abr 2019. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212019000200109&tlng=pt>.

MOREIRA, Marco Antônio e ROSA, Paulo R. S. **Pesquisa em Ensino: Métodos Qualitativos e Quantitativos**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2016. Disponível em: <<http://moreira.if.ufrgs.br/Subsidios11.pdf>>. Acesso em: 10 fev 2021.

MUKHOPADHYAYA, Phalguni et al. **High-Performance Vacuum Insulation Panel: Development of Alternative Core Materials**. *Journal of Cold Regions Engineering*, v. 22, n. 4, p. 103–123, Dez 2008. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290887-381X%282008%2922%3A4%28103%29>>.

MUSHTAHA, Emad e HELMY, Omar. **Impact of building forms on thermal performance and thermal comfort conditions in religious buildings in hot climates: a case study in Sharjah city**. *International Journal of Sustainable Energy*, v. 36, n. 10, p. 926–944, 26 Nov 2017. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14786451.2015.1127234>>.

ONU. Os objetivos de desenvolvimento sustentável no Brasil.

ORDENES, Martin e LAMBERTS, Roberto e GUTHS, Saulo. **Transferência de calor na envolvente da edificação**. LabEEE. Florianópolis: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Apostila_08.pdf>. Acesso em: 11 fev 2020. , 2008

PEDOTE, Lucas e FRANCO, Thiago Teixeira. **Análise da Eficiência Térmica de Diferentes Tipos de Coberturas para Casas de Emergência**. 2012. 86 f. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://sites.poli.usp.br/p/augusto.neiva/TCC/arquivos/1349295574.pdf>>. Acesso em: 29 out 2020.

PEREIRA, Manoel Alfredo. **Determinação de parâmetros da qualidade para a avaliação de recobrimentos superficiais de telhas cerâmicas**. 2006. 2006. Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/88814>>.

REIS, Mari Aurora Favero e REIS JÚNIOR, Paulo e PERIN, Dirceu Lorivaldo. **Sustentabilidade energética em escola pública**. *MIX Sustentável*, v. 6, n. 3, p. 37–44, 18 Jun 2020. Disponível em: <<http://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/3763>>.

SILVA, Arthur Santos e GHISI, Enedir. **Análise comparativa dos resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1**. *Ambiente Construído*, v. 14, n. 1, p. 215–230, Mar 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212014000100016&lng=pt&tlng=pt>.

SILVA, Taís Perez Da e MINUSCULLI, Patrick Renan e REIS, Mari Aurora Favero. **Desempenho térmico por transferência de calor em edificações para suínos**. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 14, n. Supl. 2, p. 1–20, 1 Dez 2021. Disponível em: <<https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/9379>>.

SORGATO, Marcio José et al. **Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais**. *Ambiente Construído*, v. 14, n. 4, p. 83–101, Dez 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212014000400007&lng=pt&tlng=pt>.

TALEBI, Ahmad Farhad et al. **Algae-Powered Buildings: A Strategy to Mitigate Climate Change and Move Toward Circular Economy**. *Modeling and Optimization in Science and Technologies*. [S.l.: s.n.], 2020. v. 17. p. 353–365. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-37794-6_18>.

THOMAS, J. M. et al. **Materials selection for thermal comfort in passive solar buildings**. *Journal of Materials Science*, v. 41, n. 21, p. 6897–6907, 1 Nov 2006. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s10853-006-0222-5>>.

VIVALDINI, D. O. et al. **Revisão: fundamentos e materiais para o projeto da microestrutura de isolantes térmicos refratários de alto desempenho**. *Cerâmica*, v. 60, n. 354, p. 297–309, Jun 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132014000200021&lng=pt&tlng=pt>.

ZINZI, M. e FASANO, G. **Properties and performance of advanced reflective paints to reduce the cooling loads in buildings and mitigate the heat island effect in urban areas**. *International Journal of Sustainable Energy*, v. 28, n. 1–3, p. 123–139, 2009.