

UMA ANÁLISE COMPARATIVA DA IMPLANTAÇÃO DE TELHADO BRANCO EM CONDIÇÕES DE SECA NO CENTRO-OESTE BRASILEIRO

Marcelo Paes de Barros (UFMT) E-mail: marcelo.paes@fisica.ufmt.br

Resumo: O presente artigo trata da instalação de um telhado de fibrocimento pintado de branco em uma residência na região da grande Cuiabá (MT). Para avaliar o impacto térmico do telhado branco, medições específicas das condições térmicas no ambiente térmico foram realizadas antes e após a instalação do novo telhado. Foi estimado que o uso do telhado branco contribuiu para a redução do pico da temperatura ambiente durante um dia típico de seca, em até 3,2 °C, mas sugere-se que a instalação da estrutura tenha pouco impacto na temperatura dos espaços ocupados. Mesmo assim, o uso de telhados brancos é uma técnica de mitigação muito eficiente para reduzir a pegada ecológica do setor residencial urbano.

Palavras-chave: Refletância solar, condições térmicas internas, telhado frio, modelagem.

A COMPARATIVE ANALYSIS OF A WHITE-ROOF INSTALLATION UNDER DROUGHT CONDITIONS IN THE BRAZILIAN MIDWEST

Abstract: The present paper deals with the installation of a painted white cement fiber roof in a residential building in the greater Cuiabá (MT) area. To evaluate the thermal impact of white roof, specific measurements of the thermal conditions in the indoor environment have been performed before and after the installation of the new roof. It was estimated that the use of white roof contributes to the reduction of the peak ambient temperature during a typical drought day, by up to 3,2 °C, but, it is suggested that the installation of structure has little impact on the temperature of the occupied space. Even so, the use of white roofs is a very efficient mitigation technique to reduce the ecological footprint of the urban residential housing sector.

Keywords: Solar reflectance, indoor thermal conditions, cool roof, modeling.

1. Introdução

Reconhecido como a característica mais evidente do Sistema Clima Urbano (SCU), o fenômeno das Ilhas de Calor Urbanas (Urban Heat Island – UHI) é resultado do acúmulo de energia térmica no núcleo do sistema, devido à construção urbana e atividades humanas, influenciando os fluxos de materiais e energia em sistemas ecológicos urbanos, além de alterar sua estrutura e funções.

Áreas urbanas, em latitudes baixas a médias, exibem UHI com maiores intensidades, pois experimentam temperaturas mais elevadas ao longo do ano, tornando-se uma questão de grande preocupação para o planejamento urbano (BEGGS, 2002).

Segundo Corbella e Yannas (2003), o fenômeno é verificado nas áreas urbanas, em geral, duas a cinco horas após o pôr-do-sol, devido ao maior resfriamento das áreas periféricas da cidade em relação ao núcleo do sistema. Os autores ainda creditam o fenômeno aos revestimentos seletivamente quentes com grande absorvância e baixa emitância, além da inércia térmica das edificações e dos corpos negros como o asfalto.

Para Oke (1988), além das propriedades térmicas dos materiais de construção, a geometria urbana, o aumento na geração de calor antropogênico, por carros e condicionadores de ar, são responsáveis pelo aumento do estoque de calor nos ambientes urbanos.

Sobre os condicionares de ar, o incremento do número desses aparelhos causou um

deslocamento do pico de consumo, demanda máxima que antes ocorria no início da noite, agora ocorre no meio da tarde. Atribui-se a isso o aumento de 11,5% no consumo de energia elétrica das residências brasileiras entre 2011 e 2013 (COSTA & CARRERA, 2014).

Hamlet et al. (2019), utilizando simulações de modelo climático global, projetaram que, a partir de mudanças substanciais na temperatura, a demanda de energia por resfriamento deve aumentar quase quatro vezes em resposta a esse aquecimento extremo, enquanto que a demanda de aquecimento deve cair em 30%. Isso resultará em uma redução da oferta anual líquida de energia de aquecimento/resfriamento para os consumidores.

A baixa eficiência do envelope de construção contribui para a elevada Pegada de Energia (Energy Footprint) das principais cidades do mundo. Com isso, a previsão é que a demanda por energia cresça, especialmente nas economias emergentes em um terço, nas próximas décadas, e que as emissões de carbono cresçam em 10% até 2040 (VAUGHAN, 2019).

O fornecimento seguro de energia é uma das questões mais importantes e também mais desafiadoras para as cidades, regiões e nações sustentáveis. Como forma de reduzir a Pegada de Energia urbana, mitigando significativamente os efeitos das UHI, Arnfield (2003) propõe a otimização da paisagem urbana, com utilização de material de alta refletividade, melhoria da eficiência energética, efetivação de arborização em calçadas e áreas livres e construção de telhados frios (*Cool Roofs*).

O telhado frio é a técnica que proporciona maior refletância solar e maior emissão térmica do que a cobertura padrão dos telhados, contribuindo na redução dos efeitos das UHI, diminuindo a temperatura da superfície, o que reduz o fluxo de calor na atmosfera e compensando o aquecimento causado pelos gases de efeito estufa (ALTAN et al., 2019). Recentemente, muitos estudos publicaram resultados comparativos entre a cobertura padrão e as diferentes alternativas de telhados frios (TAYLOR, 2016; OLIVEIRA & SOARES, 2016; MUNIZ-GÄAL et al., 2018; ALTAN et al., 2019; KATO & LIMA, 2020; YAO, CHINI & ZENG, 2020).

Realizando estudo experimental, em condições do verão de Florianópolis, SC, Liz, Ordenes e Guths (2018) observaram que o telhado verde apresenta uma importante redução no ganho de calor, comparado com um sistema convencional de telha de fibrocimento, sendo eficaz tanto na diminuição da taxa de calor absorvido pela cobertura durante o dia quanto na redução da taxa de calor perdido durante a noite. Utilizando modelagem de energia, em condições climáticas da Flórida, EUA, Yao, Chini e Zeng (2020) mostraram que a aplicação de um telhado verde reduziu o consumo anual de aquecimento e resfriamento de eletricidade em 9500 kWh, 2,2 kWh por metro quadrado, quando comparado com um telhado padrão.

Em análise de desempenho com outros sistemas de coberturas, nas condições do verão em Belém do Pará, Kato e Lima (2020) verificaram que as telhas termoacústicas “reteram boa parte da energia incidente”, com desempenho próximo ao gerado pela cobertura verde. Telhas sanduíche, ou termoacústicas, é um sistema misto formado por duas chapas de aço inox galvanizadas, preenchidas por material termo isolante que garantem resultados satisfatórios, porém seu custo de implantação é superior ao dos demais modelos disponíveis no mercado (KATO & LIMA, 2020).

De acordo com Muniz-Gäal et al. (2018), além dos materiais, a diversidade de cores nos diferentes tipos de telha acarreta uma variação no seu desempenho com relação à

refletância solar e temperatura superficial. Avaliando a temperatura superficial de diferentes tipos de telhas, os autores verificaram, por exemplo, uma variação de 57,1 °C a 96,9 °C, respectivamente, para a telha cerâmica esmaltada amarela e a cerâmica esmaltada grafite.

Sugerindo pintar as superfícies do telhado de branco, como é comum no Mediterrâneo, Taylor (2016) afirma que um telhado branco reflete os raios do sol de volta ao espaço, reduzindo o calor absorvido na estrutura e abaixo dele e, possivelmente, reduzindo os requisitos de resfriamento do espaço ocupado.

Nesse contexto, o artigo apresenta os resultados comparativos, em termos de temperatura dos ambientes internos, de um mesmo telhado de fibrocimento, antes e depois de pintado de branco, nas condições da estação seca do centro-oeste brasileiro.

2. Materiais e Método

O experimento foi conduzido em uma residência, um sobrado, localizado em Cuiabá, MT, latitude 19° 26' 56" S, longitude 44° 44' 52" O e altitude de 165 m, durante o mês de setembro de 2019.

O clima da região é caracterizado por apresentar duas estações bem definidas: seca, no inverno, de maio até setembro, e úmida, no verão, de outubro até o mês de abril, uma característica dos climas tropicais úmidos.

A temperatura média anual varia entre 28 °C e 32 °C e a precipitação média anual é da ordem 1387,8 mm, concentrados na estação chuvosa, enquanto que na estação seca são registrados, em média, apenas 5,6 ocorrências de precipitações (PAES DE BARROS, 2018). O período seco ainda é caracterizado pela baixa umidade relativa do ar, com um valor médio diário de 60% e mínimo inferior a 30%, e elevadas temperaturas do ar, com máximas diárias acima de 40 °C por dias seguidos (Figura 1).

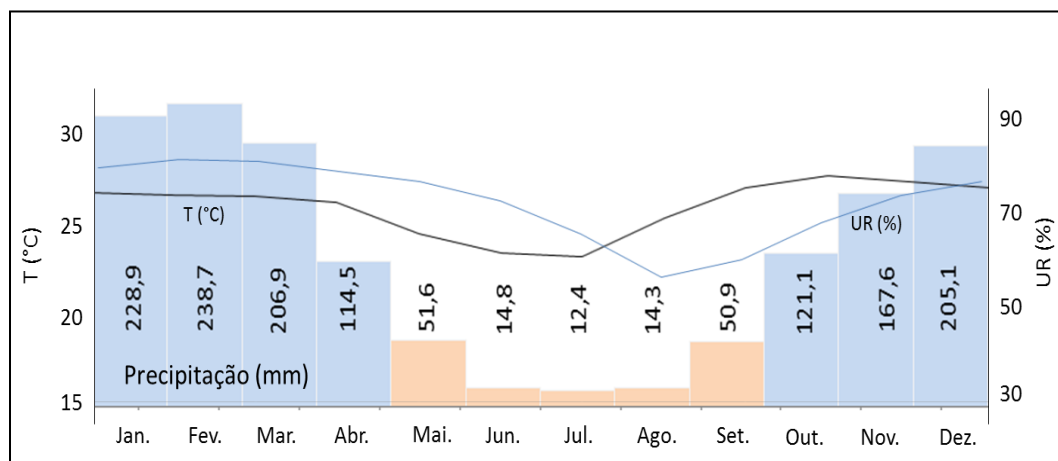


Figura 1: Precipitação, Temperatura e Umidade Relativa do Ar mensal média para Cuiabá, MT, 1961-2017.

Fonte: Paes de Barros, 2018.

Setembro de 2019 em Cuiabá foi caracterizado por dias com condições estáveis, com a ocorrência de apenas dois registros de precipitação, nos dias 25, de 12,4 mm, e 30, de 1,6 mm, e temperatura média de 30,6 °C, 3,4 °C acima da média histórica para o mês. Em 16 de setembro, houve o maior registro para o ano de 2019 e também a mais alta temperatura já observada em Cuiabá em 108 anos de medições (INMET, 2019).

O monitoramento da temperatura (°C) e da umidade relativa do ar (%) foi realizado com

a utilização de 3 termohigrômetros com data loggers, idênticos, da marca Testo, modelo 174H. O sensor de umidade opera na faixa de 0% a 100%, com precisão de $\pm 3\%$, e resolução de 0,1%, enquanto que o sensor de temperatura desse aparelho opera na faixa de temperaturas de $-20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $70,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, com precisão de $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, na faixa de operação, e resolução de 0,1 $^{\circ}\text{C}$. Os termohigrômetros foram configurados para registrar os valores das temperatura e umidade relativa do ar a cada 5,0 min, durante todo o período do experimento, e a extração dos dados foi realizada com o software ComSoft Basic 5 SP5, da Testo.

Os termohigrômetros foram dispostos, um na parte externa da residência, protegido da radiação solar e a 1,5 de altura em relação ao solo, para registro das condições ambientais, outro em uma sala situada no pavimento superior da construção, com janela voltada para o nascente e uma porta voltada para o interior da construção, e o último no forro, espaço entre a laje e a cobertura, de 1,5 m de altura e 150 m^2 de área.

Com medições a cada 30 min, para aferição das temperaturas de infravermelho superficiais das telhas, utilizou-se uma câmera de infravermelho da fabricante Fluke, série Ti110, com sensibilidade térmica entre -10°C e 250°C . Paralelamente às medições acima, foram coletados dados da radiação solar e do vento para o período na Estação Meteorológica do INMET 83361.

Com relação à cobertura da residência, esta é do tipo convencional, de fibrocimento, com dois anos de instalação. O telhado foi tratado com uma pintura com um revestimento elastomérico acrílico, branco, à base de água (Figura 2).

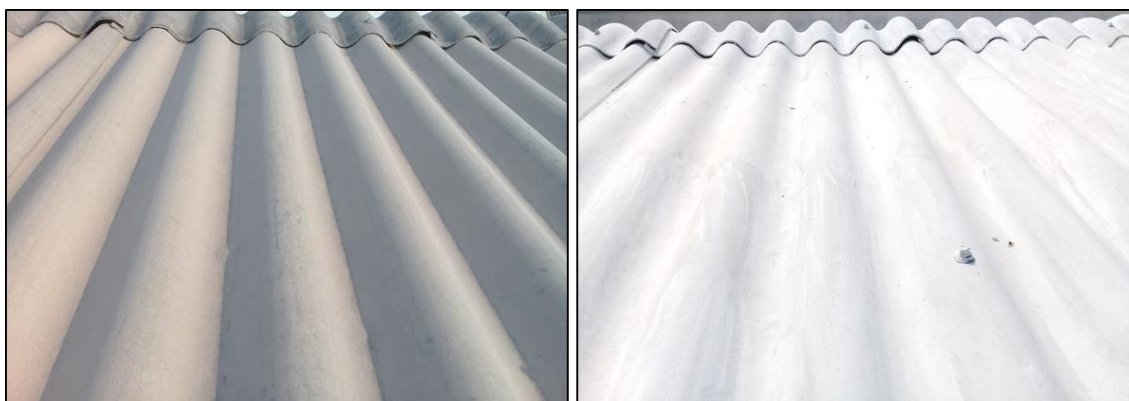


Figura 02: Imagens das configurações do telhado antes e depois do tratamento.

Para avaliar o possível impacto térmico desse tratamento sobre os ambientes térmicos do forro e da sala, considerados, uma metodologia, adaptada de Santamouris et al. (2012), em cinco etapas distintas foi delineada:

I. Monitoramento da situação inicial

Medições sistemáticas dos principais parâmetros climáticos, incluindo temperaturas da superfície e dos ambientes, externo e interno à construção, e umidade relativa do ar, foram realizadas antes de qualquer intervenção.

II. Desenvolvimento de um modelo em planilha eletrônica para a situação inicial

Modelos térmicos dos ambientes internos foram criados usando o balanço de energia nesses ambientes, tendo como condições de contorno as medidas adquiridas durante a etapa anterior. Comparações dos valores medidos com os valores previstos foram

realizadas com a finalidade de aprimorar os modelos.

III. Monitoramento da situação final:

Terminado o tratamento do telhado, novas medições, realizadas de acordo com o mesmo protocolo experimental descrito na etapa I, foram realizadas.

IV. Desenvolvimento de um modelo em planilha eletrônica para a situação final:

Novos modelos térmicos, considerando o telhado branco, foram criados usando a mesma ferramenta computacional. Todos os outros parâmetros e condições permaneceram semelhantes aos do modelo descrito na etapa II. Comparações dos valores medidos com os valores previstos foram realizadas com a finalidade de aprimorar os modelos.

V. Comparações teóricas para um dia médio do mês de setembro de 2019:

Com os valores registrados da temperatura monitorada do ambiente externo ao longo de todo o mês de setembro, foi possível estabelecer as condições de contorno correspondentes a um dia médio deste. Assim, as simulações foram realizadas usando os modelos térmicos calibrados. Os conjuntos de dados calculados foram comparados e foram tiradas conclusões sobre o impacto térmico do telhado branco sobre o ambiente interno das construções.

A etapa I foi realizada entre os dias 2 e 6 de setembro, enquanto que a etapa III se desenvolveu entre os dias 9 e 13 de setembro. O tratamento do telhado foi realizado no sábado, 7 de setembro. As demais etapas foram realizadas depois desses períodos, posteriormente a toda a rotina de medições.

Para a análise comparativa das temperaturas médias dos ambientes, nos períodos antes e depois do tratamento, foi realizado um Teste t de diferença entre duas médias para aferir, a um nível de significância adotado de 1%, se existiram diferenças significativas entre as temperaturas médias dos ambientes antes e depois do tratamento ou se as diferenças foram meramente variações aleatórias.

Este Teste t é um procedimento utilizado para comparar duas médias em dois momentos diferentes, antes e depois de um tratamento. Neste procedimento, a estatística t é o parâmetro que fornece informações sobre a evidência contra a hipótese inicial (H_0), de que as médias são iguais, para que o pesquisador possa decidir com o nível de significância apropriado. De forma que $t_{\text{calculado}} > t_{\text{crítico}}$ implica na rejeição da H_0 e aponta para a existência de diferenças significativas entre as médias, antes e depois do tratamento (COSTA, 1998).

3. Resultados e Discussões

3.1. Descrição do ambiente térmico inicial e resultados de monitoramento e simulação

Os dias reservados à primeira etapa foram claros e as horas de insolação ao longo dos dias foram de, aproximadamente, 8,5 h. Em raros momentos a velocidade vento deixou de ser nula. A umidade relativa do ar variou entre 19,1% e 58,0%, com média diária de, aproximadamente, 37,3%.

A elevação da temperatura ambiente teve início, em média, às 6h e 00 min e começou a declinar, em média, às 14 h e 00 min. A temperatura do ar variou entre 25,3 °C e 38,7 °C, uma amplitude térmica média de 13,4 °C, com média diária de, aproximadamente, 32,0 °C.

A temperatura do ar no forro foi maior que a temperatura do ar ambiente entre às 9h e 00 min e 23 h e 20 min, com uma diferença máxima de 5,0 °C, registrada por volta das 11h e 15 min. No entanto a maior temperatura registrada no forro foi de 43,0 °C, às 14 h e 10 min, quando a temperatura do ambiente externo era de 38,6 °C (Figura 3).

A temperatura do ar na sala foi menor que a temperatura do ar ambiente entre às 11h e 10 min e 23 h e 20 min, com uma diferença máxima de 3,1 °C, a favor da sala, registrada por volta das 15 h e 10 min. No entanto, a maior diferença, de 7,7 °C, entre esses ambientes aconteceu as 6 h e 00 min. A maior temperatura registrada na sala foi de 35,4 °C, as 15 h e 20 min, quando a temperatura do ambiente externo era de 38,6 °C (Figura 3).

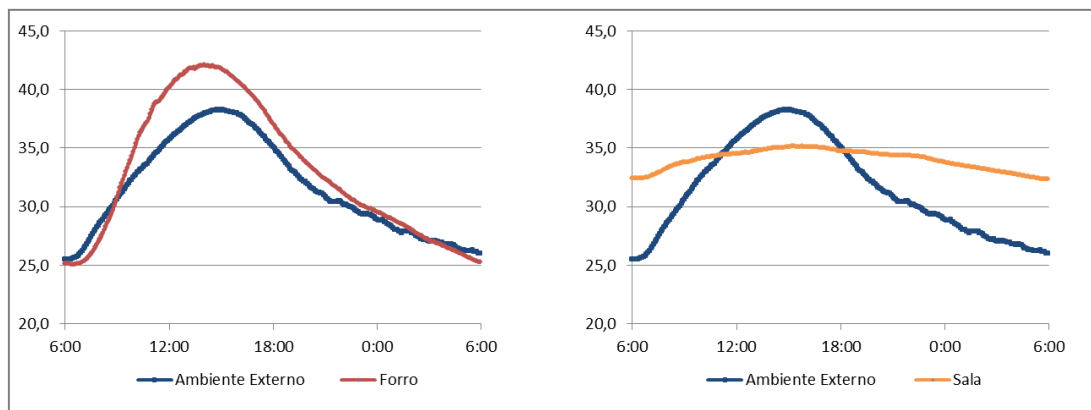


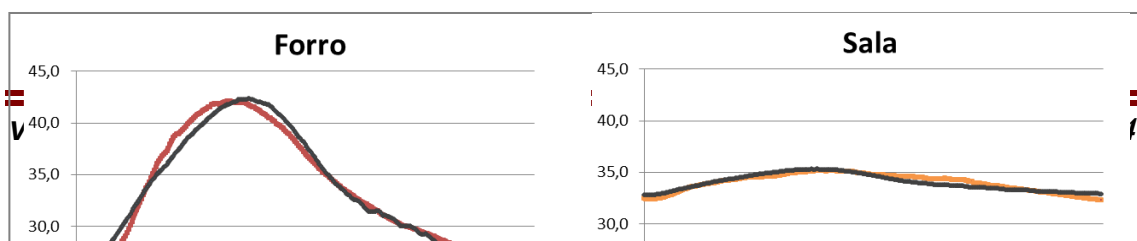
Figura 3: Evolução das temperaturas do ar nos forro e sala, em °C, comparativas ao ambiente externo, antes do tratamento.

Os resultados indicam evoluções similares das temperaturas do ar do ambiente externo e do forro, resultado da ausência de isolamento térmico para redução da transmissão de calor para esse ambiente. Adiciona-se a isso, para justificar a intensidade das temperaturas máximas no forro, o acúmulo de sujeira nas superfícies das telhas, alterando a refletância das superfícies, a partir dos primeiros dois meses de exposição (MUNIZ-GÄAL et al., 2018). Os efeitos combinados das características das telhas como tipo de revestimento, tipo de material, cor e forma determinam a velocidade de envelhecimento da superfície (ALCHAPAR & CORREA, 2016).

Com relação à sala, os resultados sugerem que esse espaço é construído por sistema de fechamento com com inércia térmica elevada, que possibilita a diminuição na amplitude da temperatura do ar interior em relação à temperatura exterior. Nessa condições, os picos de temperatura observados externamente serão percebidos de forma mais amena internamente e com atraso (SOUZA, AMPARO & GOMES, 2011).

A partir desses resultados, seguindo a metodologia descrita anteriormente, modelos que simulassem as evoluções dos ambientes térmicos nessas condições iniciais, específicos para cada ambiente, forro e sala, foram desenvolvidos.

A diferença máxima entre as temperaturas previstas nesses modelos e as medidas experimentais não excedeu 0,6 °C, esse valor, próximo a precisão dos equipamentos, permite considerar a concordância como satisfatória, de forma que os modelos térmicos teóricos desenvolvidos podem, com precisão suficiente, prever as temperaturas nos respectivos ambientes em condições anteriores à pintura do telhado (Figura 4).



3.2. Descrição do ambiente térmico final e resultados de monitoramento e simulação

As condições climáticas dos dias reservados à terceira etapa foram semelhantes às condições da primeira etapa. A umidade relativa do ar variou entre 24,0% e 57,1%, com média diária de, aproximadamente, 39,6%.

A elevação da temperatura ambiente teve início, em média, às 6 h e 00 min e começou a declinar, em média, as 14 h e 20 min. A temperatura do ar variou entre 28,8 °C e 40,0 °C, uma amplitude térmica média de 11,2 °C, com média diária de, aproximadamente, 34,8 °C.

A temperatura do ar no forro foi maior que a temperatura do ar ambiente entre às 11 h e 05 min e 19 h e 20 min, com uma diferença máxima de 2,0 °C, registrada por volta das 12 h e 05 min. No entanto a maior temperatura registrada no forro foi de 42,2 °C, as 14 h e 05 min, quando a temperatura do ambiente externo era de 40,0 °C (Figura 5).

A temperatura do ar na sala foi menor que a temperatura do ar ambiente entre às 11 h e 20 min e 23 h e 30 min, com uma diferença máxima de 3,1 °C, igual a situação anterior, a favor da sala, registrada por volta das 15 h e 10 min. A maior diferença entre esses ambientes, de 7,7 °C, também igual à situação anterior, aconteceu as 6 h e 00 min. A maior temperatura registrada na sala foi de 35,2 °C, as 15 h e 20 min, quando a temperatura do ambiente externo era de 38,2 °C (Figura 5).

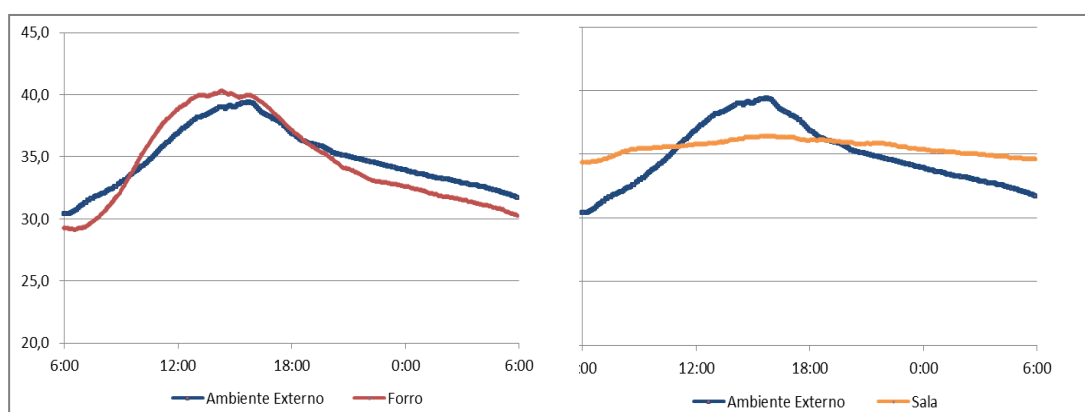


Figura 5: Evolução das temperaturas do ar nos forro e sala, em °C, comparativas ao ambiente externo, depois do tratamento.

Novamente os resultados indicaram evoluções similares das temperaturas do ar do ambiente externo e do forro, porém, nessa nova situação, as diferenças de temperatura

nas horas mais quentes do dia foram muito reduzidas quando comparadas à situação anterior à pintura do telhado. Com relação à sala, os resultados não apontaram, a princípio, para valores diferentes relativamente à situação anterior.

A partir desses resultados, seguindo a metodologia descrita anteriormente, modelos específicos para cada ambiente, forro e sala, foram desenvolvidos que simulassem as evoluções dos ambientes térmicos nas condições da terceira etapa. A diferença máxima entre as temperaturas previstas nesses modelos e as medidas experimentais não excedeu 0,5 °C, valor que permite considerar a concordância como satisfatória, de forma que os modelos térmicos teóricos desenvolvidos podem, com precisão suficiente, prever as temperaturas nos respectivos ambientes em condições posteriores ao tratamento (Figura 6).

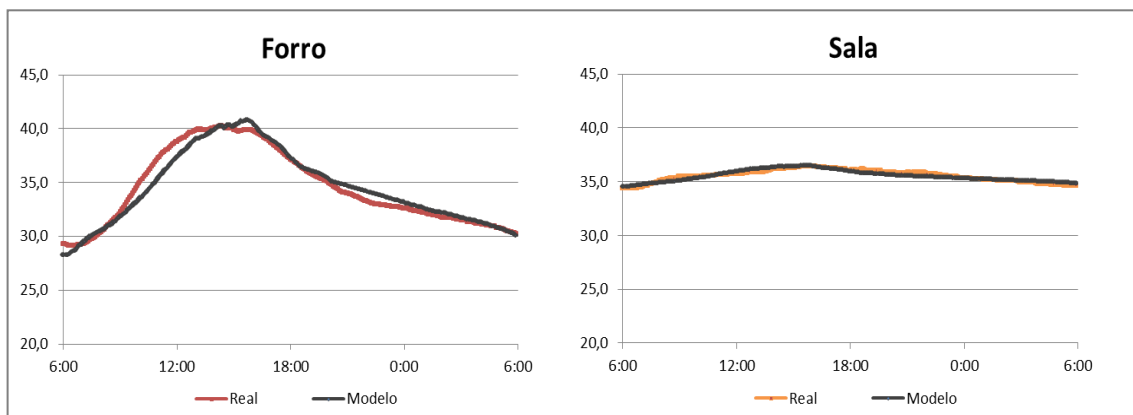


Figura 6: Evolução das temperaturas do ar nos forro e sala, em °C, comparativas aos modelos desenvolvidos, depois do tratamento.

3.3. Análise Comparativa

Conforme a metodologia de análise, os resultados seriam avaliados a partir das comparações das evoluções dos modelos, antes e depois do tratamento, nas condições térmicas de um dia típico do mês.

Assim feito, a princípio foram comparadas as temperaturas médias nos períodos matutino, vespertino e noturno, antes e depois do tratamento (Tabela 1):

Tabela 1: Temperaturas médias (°C) antes e depois do tratamento e os correspondentes parâmetros estatísticos

	Forro				Sala			
	Antes	Depois	$t_{calc.}$	$t_{crit.}$	Antes	Depois	$t_{calc.}$	$t_{crit.}$
Matutino	32,64	29,51	4,43	2,59	34,75	33,93	7,96	2,59
Vespertino	42,36	39,28	13,33	2,59	36,25	35,29	28,09	2,59
Noturno	32,94	29,81	6,72	2,53	34,80	33,97	12,12	2,53

Em todas as situações, nos dois ambientes, as temperaturas médias foram menores após a intervenção no telhado. Também a relação estatística $t_{calc.} > t_{crit.}$ foi verificada em todas as situações, nos dois ambientes, permitindo rejeitar a hipótese inicial (H_0) a 1% de 1% de significância, evidências suficientes para permitir afirmar, com 99% de de confiança, que o trataemnto realizado no telhado foi responsável pelas diferenças entre

as temperaturas médias nos ambientes antes e após o tratamento, único evento significativo ocorrido no período.

Ampliando a análise para as temperaturas ao longo do dia, as temperaturas ambientes estimadas para os cenários no forro, como indicava, mostrou o impacto do tratamento, que contribuiu para a diminuição da temperatura nesse ambiente (Figura 7). No forro o impacto do tratamento foi importante e contribuiu para a redução da temperatura de até 3,2 °C. Esse resultado está muito próximo aos relatados em estudos semelhantes que consideraram telhados frios para melhorar a qualidade ambiental dos espaços fechados (ALCHAPAR & CORREA, 2016; OLIVEIRA & SOARES, 2016; TAYLOR, 2016; KATO & LIMA, 2020; YAO, CHINI & ZENG, 2020).

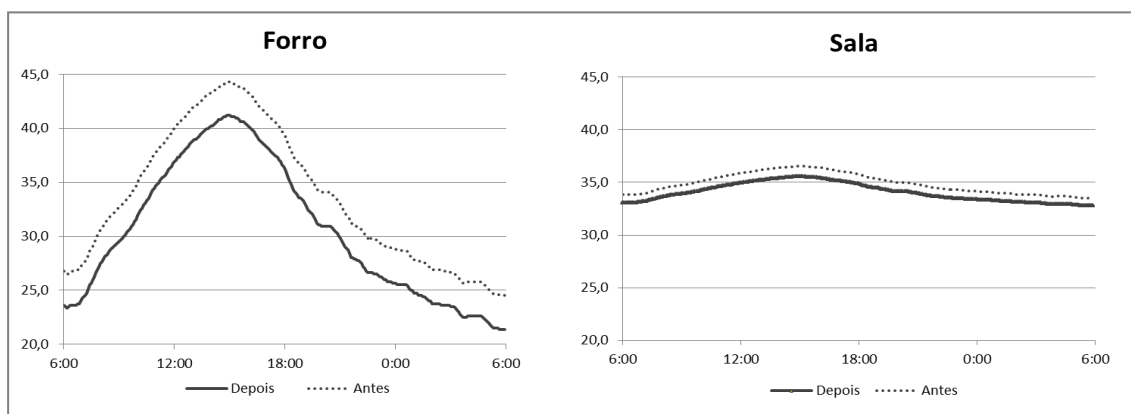


Figura 7: Evolução das temperaturas do ar, em °C, segundo os modelos, comparativas aos períodos antes e depois do tratamento.

O resultado pode ser creditado ao aumento do SRI (*solar reflectance index*) das telhas causado pela intervenção. O SRI é uma forma de quantificar quão frio é um material, a partir de sua capacidade de rejeitar calor solar, incorporando duas propriedades dos materiais, refletância solar e emissividade. Muniz-Gäal et al. (2018) avaliando o SRI de diferentes tipos de telhas quanto a rugosidade e cor, identificaram que as telhas de tons claros demonstraram ser opções mais eficientes independentemente do tipo de telha (cerâmica rústica, cerâmica esmaltada ou concreto), uma vez que apresentaram uma tendência de maiores valores de refletância solar.

No entanto, para a sala, apesar da diferença estatística entre as temperaturas médias, as temperaturas dos dois modelos foram muito semelhantes, resultando em uma diferença máxima de 1,0 °C, a favor do modelo após o tratamento. O resultado, apesar de significativo, parece não fazer diferença em condições ambientais extremas como as apresentadas na ocasião (Figura 7).

Taylor (2016) sugere que, mesmo que a cor do telhado tenha pouco impacto na temperatura do espaço ocupado e isolado, ainda assim, ao reduzir o calor absorvido na estrutura abaixo dele pode, portanto, reduzir os requisitos de resfriamento do espaço ocupado. Destacando a possibilidade da lavagem dos telhados, como forma de restaurar o albedo original, e da pinturas com cores claras, para elevar o SRI, para telhados já instalados, Dornelles & Caram (2012) demonstraram que seria mais útil desenvolver revestimentos de alta refletância e resistentes a intempéries a serem utilizados em novas instalações.

4. Conclusão

A metodologia utilizada ofereceu a possibilidade de identificar, com uma aproximação satisfatória, o impacto de uma intervenção em um ambiente não controlado, operando sob condições dinâmicas de contorno.

Os resultados apresentados são válidos dentro dos limites do clima e condições de contorno do presente estudo. Para níveis mais baixos de radiação solar, temperatura ambiente e presença de ventos a contribuição do telhado branco deve diminuir.

A análise comparativa indicou um resfriamento de até 3,2 C, para o espaço sem isolamento, e de até 1,0 C, para o ambiente interior isolado, após a intervenção do telhado branco. A redução apontou para possíveis ganhos em termos da necessidade de condicionamento do espaço ocupado, que podem ser potencializados com outras medidas de isolamento da envoltória das edificações.

Além da pintura de branco, a lavagem dos telhados também é uma alternativa para um ganho no albedo dessas estruturas. No entanto estruturas novas, em função dos resultados deste trabalho, devem receber revestimentos de alta refletância e resistentes a intempéries, ou outras alternativas de telhados frios, promovendo, além de sua função primeira, melhores condições de conforto ambiental para os ambientes internos.

No ambiente urbano, a forma que responderá melhor às necessidades de adaptação e mitigação às UHI será aquela em que os recursos disponíveis alcançam múltiplos objetivos. Os edifícios precisarão fornecer um potencial de resfriamento mais natural e energia solar reduzindo as demandas de energias para refrigeração de ambientes.

Políticas voltadas para a aumento da eficiência do envelope das construções podem atuar sobre a pegada ecológica de energia do setor habitacional, assim, ao reduzir a energia operacional das habitações, reduzindo a vulnerabilidade da sociedade a futuras incertezas relacionadas ao fornecimento de energia.

Referências

- ALCHAPAR, N.L. & CORREA, E.N. *Aging of Roof Coatings: solar reflectance stability according to their morphological characteristics*, Construction and Building Materials, v.102, p.297-305, 2016.
- ALTAN, H.; ALSHIKH, Z.; BELPOLITHI, V.; KIM, Y.K.; SAID, Z.; & AL-CHADERCHI, M. *An experimental study of the impact of cool roof on solar PV electricity generations on building rooftops in Sharjah, UAE*. International Journal of Low-Carbon Technologies. v. 14, p.267-276, 2019.
- ARNFIELD, A. J. *Two Decades of Urban Climate Research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island*. International Journal of Climatology. v.23, n.1, p.1-26, 2003.
- BEGGS, C. *Energy: management, supply and conservation*. Oxford, Great Britain: Butterworth-Heinemann, 2002.
- CORBELLA, O. & YANNAS, S. *Em Busca de uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos: conforto ambiental*. Rio de Janeiro, RJ: Revan, 2003.
- COSTA, A.C. & CARRERA, M. *Ar-condicionado Vira Novo Vilão para Consumo de Energia*. Revista Veja. 2014. Disponível em: <veja.abril.com.br/economia/ar-condicionado-vira-novo-vilao-para-consumo-de-energia>. Acesso em 20 jan. 2017.
- COSTA, S.F. *Introdução Ilustrada à Estatística*. São Paulo: Harbra, 1998.
- DORNELLES, K.A. & CARAM, R.M. *Impactos da Exposição ao Intemperismo Natural Sobre as Refletâncias de Tintas Para Cobertura de Edifícios*. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., Juiz de Fora, 2012. Anais... Juiz de Fora: ANTAC, 2012.
- HAMLET, A.F.; BYUN, K.; ROBESON, S.M.; WIDHALM, M. & BALDWIN, M. *Impacts of Climate Change on the State of Indiana: ensemble future projections based on statistical downscaling*.

Climatic Change. p.1-15, 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa da estação de Cuiabá, MT, Código OMM: 83361, 2019.*

KATO, R.B. & LIMA, G.A. *Estudo comparativo do desempenho térmico de coberturas convencionais e sustentáveis em Belém-PA.* Revista de Engenharia e Tecnologia. v.12, n.1, p.178-195, 2020.

LIZ, D.S.; ORDENES, M. & GUTHS, S. *Análise experimental do comportamento térmico do telhado verde extensivo para Florianópolis.* Oculum Ensaios, v.15, n.2, p.315-333, 2018.

MUNIZ-GÄAL, L.P.; PEZZUTO, C.C.; CARVALHO, M.F.H. & MOTA, L.T.M. *Eficiência térmica de materiais de cobertura.* Ambiente Construído. v.18, n.1, p.503-518, 2018.

OKE, T.R. *Street Design and Urban Canopy Layer Climate.* Energy Buildings. v.11, n.1-3, p.103-113, 1988.

OLIVEIRA, P.L. & SOARES, R.G. *Desempenho térmico das edificações: estudo comparativo entre o telhado verde e outros tipos de coberturas.* Revista Petra. v.2, n.1, p.36-55, 2016.

PAES DE BARROS, M. *Identifying the Popular References of Rainfall Prediction in Observed Precipitation Trends in the Brazilian Savanna.* International Journal of Recent Scientific Research, v.9, n.4, p. 26425, 2018.

SANTAMOURIS, M.; GAITANI, N.; SPANOU, A.; SALIARI, M.; GIANNOPOULOU, K.; VASILAKOPOULOU, K. & KARDOMATEAS, T. *Using cool paving materials to improve microclimate of urban areas – Design realization and results of the flisvos project,* Building and Environment, v.53, p.128-136, 2012.

SOUZA, H.A.; AMPARO, L.R. & GOMES, A.P. *Influência da inércia térmica do solo e da ventilação natural no desempenho térmico: um estudo de caso de um projeto residencial em light steel framing.* Ambiente Construído, v.11, n.4, p.113-128, 2011.

TAYLOR, A.P.R. *A comparative analysis of a white-roof installation during a New Zealand autumn and winter.* International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development. v.7, n.:1, p.52-60, 2016.

VAUGHAN, A. *Renewable Energy Will Be World's Main Power Source by 2040, Says BP.* The Guardian. Environment. Disponível em:< <https://www.theguardian.com/business/2019/feb/14/renewable-energy-world-power-source-bp>>. Acesso em 14 fev. 2019.

YAO, L.; CHINI, A. & ZENG, R. *Integrating cost-benefits analysis and life cycle assessment of green roofs: a case study in Florida.* Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. v.26, n.:2, p.443-458, 2020.