

Análise do desempenho térmico de ambientes gerado por um Eco Cooler

Analysis of thermal performance of environments generated by an Eco Cooler

Análisis del comportamiento térmico de ambientes generados por un Eco Cooler

Aparecida Helena Krasucki Lopes de Oliveira

Arquiteta, UNOESTE, Brasil
tutukra@hotmail.com

Thais Helena Salvador

Arquiteta, UNOESTE, Brasil
thaishsalvador@hotmail.com

Bruna Bessa Rocha

Professora Mestre, UNOESTE, Brasil
brunabessa@unoeste.br

Bruno César de Castro Cardoso

Professor Mestre, UNOESTE, Brasil
bruno.ccardoso@uel.br

RESUMO

A pesquisa teve como objetivo construir placas de um Eco Cooler a fim de testar sua eficácia em seu desempenho térmico como meio de resfriamento em construções temporárias e emergentes na cidade de Presidente Prudente-SP. A confecção do Eco Cooler foi realizada manualmente e com materiais 100% recicláveis, dispensando o uso de qualquer aparelho eletrônico e energia elétrica, desde sua produção até seu funcionamento. O material utilizado com aproveitamento de garrafa PET, placas de isopor, fitas isolantes, cortador de isopor, cola de isopor, madeira OSB, prego, martelo e serra mármore (para a estrutura em que o Eco Cooler será instalado). As análises de dados de desempenho térmico foram medidas com sensores colocados na superfície interna e externa da construção em que a placa de Eco Cooler foi instalada. O experimento mostra que o Eco Cooler é uma alternativa viável para reduzir a temperatura em ambientes internos, especialmente em locais com clima quente e seco, como a região de Presidente Prudente-SP. Além disso, a construção do equipamento pode ser uma forma de incentivar a reciclagem de materiais, contribuindo para o meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Desempenho térmico. Temperatura. Reciclável.

SUMMARY

The research aimed to build plates of an Eco Cooler in order to test its effectiveness in its thermal performance as a means of cooling in temporary and emerging constructions in the city of Presidente Prudente-SP. The Eco Cooler was made manually and with 100% recyclable materials, dispensing with the use of any electronic device and electricity, from production to operation. The material used is PET bottle, styrofoam boards, insulating tape, styrofoam cutter, styrofoam glue, OSB wood, nail, hammer and marble saw (for the structure where the Eco Cooler will be installed). Thermal performance data analyzes were measured with sensors placed on the inside and outside surface of the building where the Eco Cooler tile was installed. The experiment shows that the Eco Cooler is a viable alternative to reduce the temperature in indoor environments, especially in places with a hot and dry climate, such as the region of Presidente Prudente-SP. In addition, the construction of equipment can be a way to encourage the recycling of materials, contributing to the environment.

KEYWORDS: Thermal performance. Temperature. Recyclable.

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo construir placas de un Eco Cooler para probar su efectividad en su desempeño térmico como medio de enfriamiento en construcciones temporales y emergentes en la ciudad de Presidente Prudente-SP. El Eco Cooler fue fabricado de forma manual y con materiales 100% reciclables, prescindiendo del uso de cualquier dispositivo electrónico y electricidad, desde su producción hasta su funcionamiento. El material utilizado es botella de PET, tableros de poliestireno, cinta aislante, cortador de poliestireno, cola de poliestireno, madera OSB, clavo, martillo y sierra para mármol (para la estructura donde se instalará el Eco Cooler). Los análisis de datos de rendimiento térmico se midieron con sensores colocados en la superficie interior y exterior del edificio donde se instaló la loseta Eco Cooler. El experimento muestra que el Eco Cooler es una alternativa viable para reducir la temperatura en ambientes interiores, especialmente en lugares con clima cálido y seco, como la región de Presidente Prudente-SP. Además, la construcción de equipos puede ser una forma de incentivar el reciclaje de materiales, contribuyendo con el medio ambiente.

PALABRAS CLAVE: Rendimiento térmico. Temperatura. Reciclable.

1 INTRODUÇÃO

O território brasileiro, conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), é localizado entre os dois trópicos e apresenta seis diferentes tipos de climas denominados por Equatorial, Subtropical, Tropical, Tropical Atlântico, Tropical de Altitude e Semiárido. O clima Tropical do estado de São Paulo, onde se localiza a cidade de Presidente Prudente, é responsável por verão quente e chuvoso; e inverno quente e seco. Com temperaturas médias acima de 20° C e amplitude térmica anual de até 7° C.

A pesquisa tem o objetivo de construir as placas do Eco Cooler com aproveitamento de garrafa PET, com a finalidade de compreender a importância do uso das placas em construções temporárias e emergentes e analisar a viabilidade e o desempenho do mesmo como meio de resfriamento de um ambiente interno construído como protótipo em Presidente Prudente, São Paulo (latitude – 22° 07' 32" S).

A partir das condições climáticas citadas acima, faz-se necessário as orientações e diretrizes construtivas presentes na norma de zoneamento bioclimático brasileiro, onde se fundamenta para a cidade de Presidente Prudente a Zona Bioclimática 6.

Como meio de refrigeração ecológica, foi utilizada a garrafa PET cortada ao meio para criar o modelo do Eco Cooler na cidade de Daulatdia, no país de Bangladesh. A cidade de clima Tropical atinge altas temperaturas que podem chegar aos 45° C, e isso fez com que Ashis Paul em 2016, nativo de Bangladesh, desenvolvesse um sistema de ar condicionado utilizando muito pouco recurso. Os materiais utilizados e o fato de dispensar o uso de energia elétrica fazem do protótipo totalmente ecológico, uma vez que minimiza os danos causados no meio ambiente por resíduos do material PET ou por recursos geradores de energia (CHIAFITELA, 2017).

Na termodinâmica, quando um fluido é comprimido por um fluxo, ele naturalmente esfria. Esse fenômeno é conhecido como efeito Joule-Thomson ou simplesmente efeito JT. Ele ocorre quando um fluido passa de uma área de baixa pressão para uma área de alta pressão através de um orifício, o que causa uma diminuição na temperatura do fluido.

O efeito JT é um processo adiabático, o que significa que ele ocorre sem troca de calor com o ambiente externo. Durante o processo, o fluido experimenta uma mudança de entalpia, que resulta em uma diminuição na temperatura. Isso ocorre porque a energia cinética do fluido é convertida em energia potencial, o que diminui a velocidade das moléculas do fluido e, portanto, sua temperatura.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A construção civil está entre as indústrias mais consumidoras de matérias-primas naturais e geradoras de resíduos. Atualmente, é responsável pela produção de mais de 70 milhões de toneladas de resíduos por ano, gerados em construções, reformas e demolições de obras, onde se tornam responsáveis por grande parte do impacto gerado no meio ambiente pela produção de resíduo e descarte indevido (CONTRERAS et al., 2016).

Entre os diversos danos causados no meio ambiente, há, hoje em dia, métodos de construções sustentáveis que amenizam os impactos gerados pelos resíduos construtivos. Um deles é a incorporação de materiais alternativos na construção civil, como a garrafa PET, por exemplo, que passou a ser utilizada como material de construção, por possuir um tempo

elevado para degradação quando descartada incorretamente no meio ambiente (ZANIN; MANCINI, 2004).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET, 2015), o material da garrafa de Polietileno Tereftalato (PET) possui uma grande diversidade de usos, dentre elas está a possibilidade do material na construção civil, que pode ser encontrada como substituta das britas, na fabricação do cimento. Também na substituição da areia, na produção de tijolos e blocos, bem como em peças preenchidas com areia ou entulho de obra, intercalada de argamassa moldada em fôrmas de madeira para a formação de paredes.

O material é utilizado como um insumo alternativo em edificações residenciais de baixo custo. E uma pesquisa significativa sobre o assunto do Conselho Nacional de Pesquisa Científica e Tecnológica (Conicet) constatou que as peças com adição de PET são padronizadas com poucos poros, menos permeáveis e, portanto, mais resistentes a impactos. Com base nisso, a equipe constatou que um tijolo comum teve resultado de 1,10 Mpa – Resistência à Flexão Média –, já os tijolos ecológicos apresentaram 1,94 Mpa, ou seja, mais leves e mais resistentes (CREA-AL, 2019).

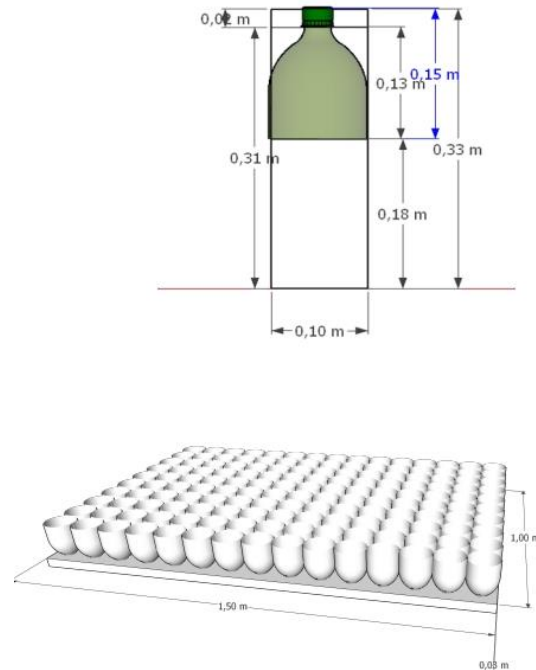
Portanto, é possível afirmar que a presença do material sustentável Polietileno Tereftalato nos elementos construtivos de uma edificação é benéfica em muitos aspectos, dentre eles resistência, sustentabilidade, versatilidade, custo x benefício e até mesmo estética.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

1.1 Materiais

A confecção do Eco Cooler será realizada manualmente e com materiais 100% recicláveis, dispensando o uso de qualquer aparelho eletrônico e energia elétrica, desde sua produção até seu funcionamento. O Eco Cooler de 10 garrafas PET será perfurado com distância de 2 cm em uma placa de isopor de 3 cm de espessura com 0,80 cm de largura e 1,00 de altura.

Figura 1 – Modelo digital para a confecção do Eco Cooler



Fonte: Os autores (2020).

A Figura 2 mostra a finalização do equipamento para a instalação nos protótipos.

Figura 2 – Modelo real confeccionado



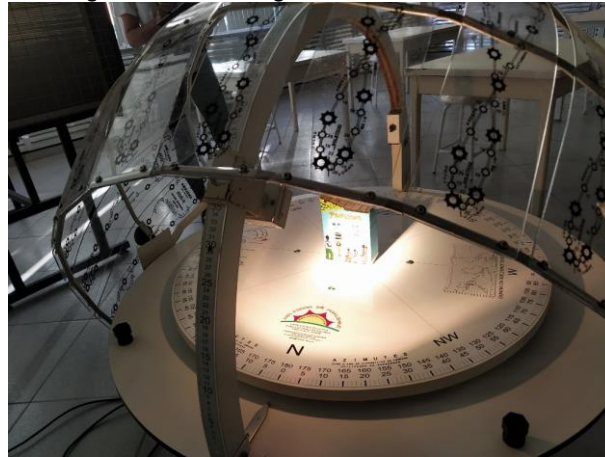
Fonte: Os autores (2023).

1.2 Métodos

A avaliação do desempenho térmico de edificações, via medições *in loco*, será feita em um protótipo em escala real (1:1), seguindo os procedimentos apresentados pela NBR 15575-1

(ABNT, 2013), com o objetivo de reproduzir condições semelhantes possíveis àquelas que serão obtidas pela edificação real, evitando-se desvios de resultados causados por sombreamentos diferentes da obra real.

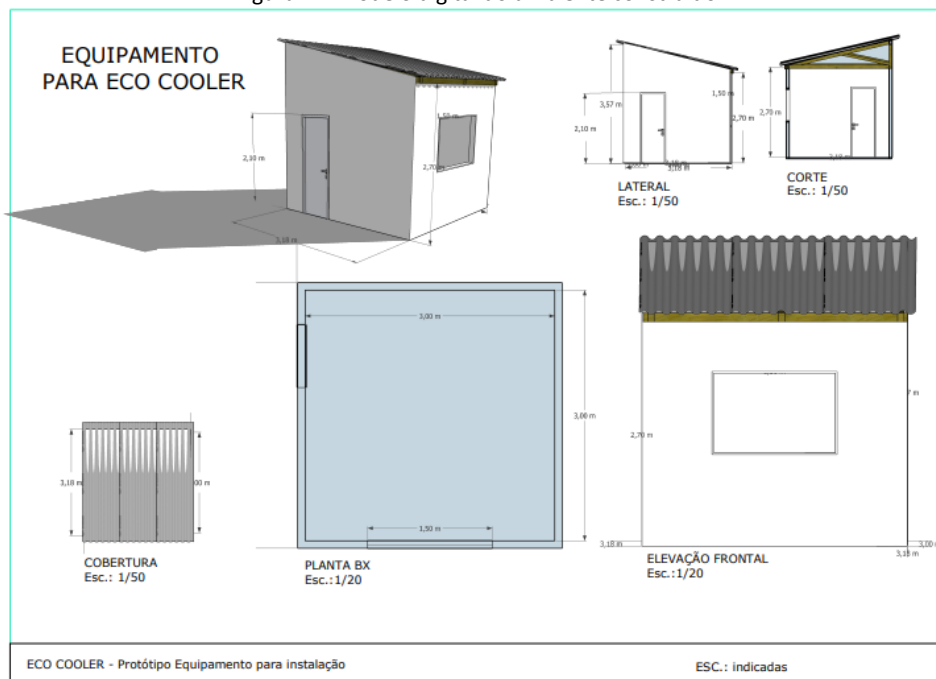
Figura 3 – Estudo da geometria solar no Heliodon



Fonte: Os autores (2020).

O protótipo foi construído em campo, em local aberto e descoberto, na cidade de Presidente Prudente, de região bioclimática 6 (ABNT, 2005).

Figura 4 – Modelo digital do ambiente construído



Fonte: Os autores (2020).

A Figura 5 ilustra os blocos de concreto de alvenaria estrutural, doados pela empresa Pré Moldados Panorama.

Figura 5 – Blocos de concreto para a construção dos protótipos



Fonte: Os autores (2022).

Figura 6 – Execução dos protótipos



Fonte: Os autores (2022).

Figura 7 – Protótipos prontos em escala real



Fonte: Os autores (2023).

O período de medição foi seguido conforme a NBR 15575-1 (ABNT, 2013), devendo o dia escolhido para a análise corresponder a um dia típico de projeto, de verão ou de inverno, precedido por pelo menos um dia com características semelhantes.

O sensor de temperatura utilizado nesta pesquisa é do tipo termômetro elétrico de resistência (resistor de platina, termistor), termômetro baseado em geração de força eletromotriz (termopares).

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Análise dos resultados

O experimento realizado teve como objetivo testar a eficiência do Eco Cooler em diminuir a temperatura em ambientes internos. Foram construídas duas casas modelo de mesmo tamanho, cada uma com uma porta e duas janelas, para que os testes fossem executados. Para coletar os dados de temperatura, a empresa Tecsus S.A. forneceu dois equipamentos de telemetria com quatro sensores de temperatura cada. As leituras de temperatura foram realizadas a cada 15 minutos.

Os sensores de temperatura foram instalados em quatro posições: um sensor foi colocado dentro da casa modelo no centro da casa; o segundo sensor foi instalado na janela com face para o nordeste; o terceiro sensor foi instalado na outra janela com face sudoeste; e, por fim, foi instalado um sensor de temperatura na parede externa da casa para medir a diferença de temperatura.

O experimento foi dividido em quatro etapas principais. Na primeira etapa, as duas casas foram deixadas sem o equipamento Eco Cooler, permitindo assim uma comparação de temperatura entre as casas. Na segunda etapa, o Eco Cooler foi instalado em uma janela da Casa 1, enquanto a outra casa permaneceu sem o equipamento. Na terceira etapa, o Eco Cooler foi instalado em uma janela da Casa 2. Já na quarta etapa, o Eco Cooler foi instalado nas duas janelas da Casa 2, permitindo a comparação das temperaturas entre as duas casas com e sem o equipamento.

Dentre essas etapas, os sensores de temperatura foram ajustados durante o experimento para garantir uma medição precisa das diferenças de temperatura entre as casas.

4.1.1 Primeira etapa

No dia 1 de março de 2023, iniciou-se a análise instalando os dois equipamentos com quatro sensores em cada casa para medição, por enquanto, sem a utilização do equipamento Eco Cooler, até o dia 6 de março de 2023, às 19h.

Durante a primeira semana, alguns dos sensores externos ficaram expostos diretamente ao sol após o meio-dia, o que provocou uma leitura de temperatura bem acima da realidade. Isso ocorreu devido ao invólucro do sensor de temperatura ser feito de material metálico.

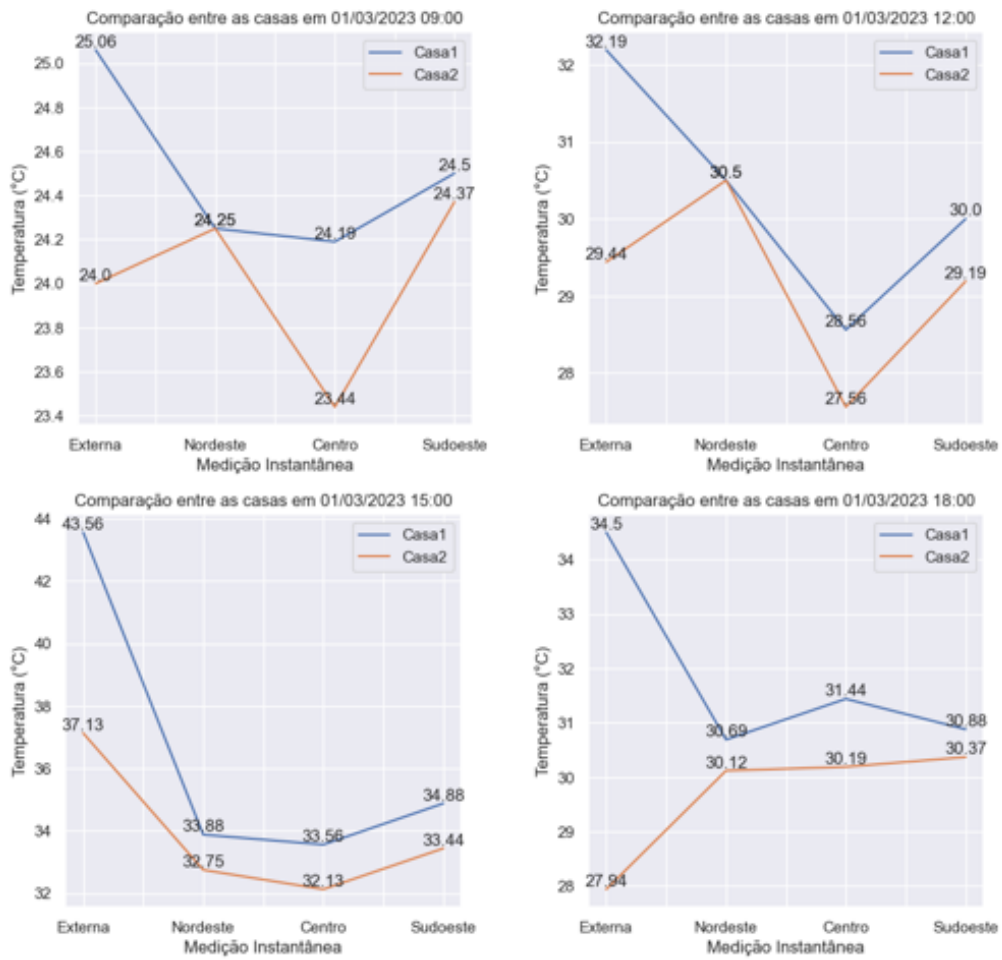
A Figura 8 demonstra o comparativo entre as temperaturas adquiridas das duas casas, evidenciando um comportamento térmico parecido, com exceção do sensor externo da Casa 1, que teve uma incidência de sol direta em seu invólucro a partir do meio-dia.

Figura 8 – Instalação dos sensores de temperatura nas casas modelo



Fonte: Os autores (2023).

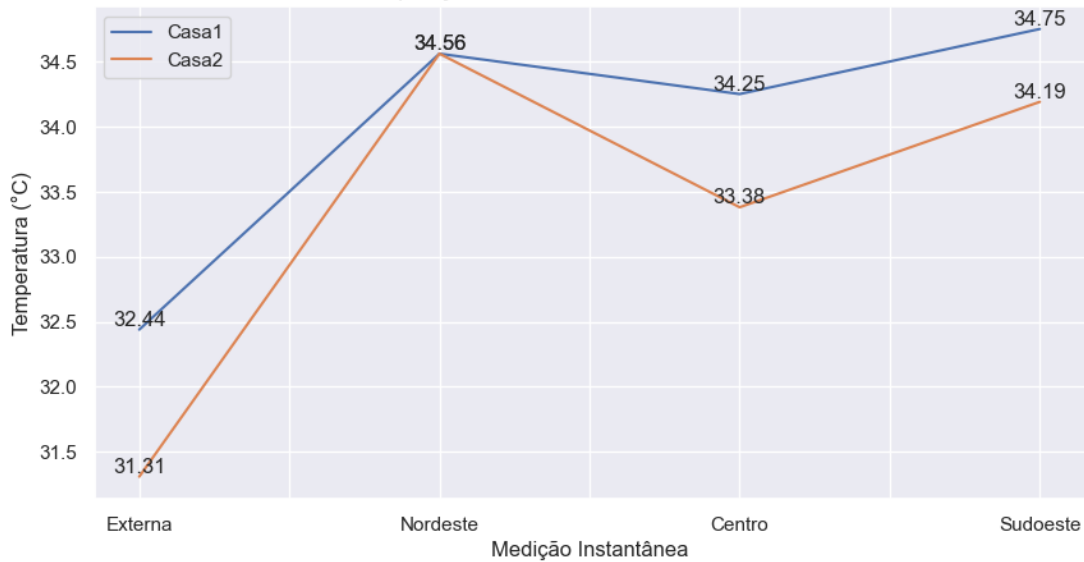
Figura 9 – Comparação entre as casas no dia 1 de março de 2023



Fonte: Os autores (2023).

Nos dias nublados onde não houve a incidência de sol direta no sensor externo da Casa 1, o comportamento térmico se manteve muito próximo, com uma diferença de poucos graus, conforme ilustra a figura abaixo.

Figura 10 – Comparação entre as casas num dia sem sol
Comparação entre as casas em 02/03/2023 12:00



Fonte: Os autores (2023).

Ainda na fase de ajustes da instrumentação, pode-se perceber que o sensor Nordeste apresentou elevação da temperatura em alguns momentos do dia por estar posicionado à frente da janela, tendo recebido sol direto.

Antes da colocação do Eco Cooler, os dados de telemetria demonstraram que a Casa 1 apresentou variação de temperatura mais alta que a Casa 2, durante a primeira semana. Isso se deve ao fato de a Casa 1 estar mais exposta ao sol a partir das 12h e sua sombra no chão à frente da Casa 2 amenizar a incidência dos raios solares na segunda casa.

4.1.2 Segunda etapa

A segunda etapa iniciou-se em 6 de março de 2023, às 19h, até 14 de março de 2023, às 19h, quando foi colocado o Eco Cooler na janela face Nordeste da Casa 1 para comparação com a Casa 2 a partir das 20h. A Figura 11 ilustra a posição final da instalação final do equipamento Eco Cooler na janela da casa modelo.

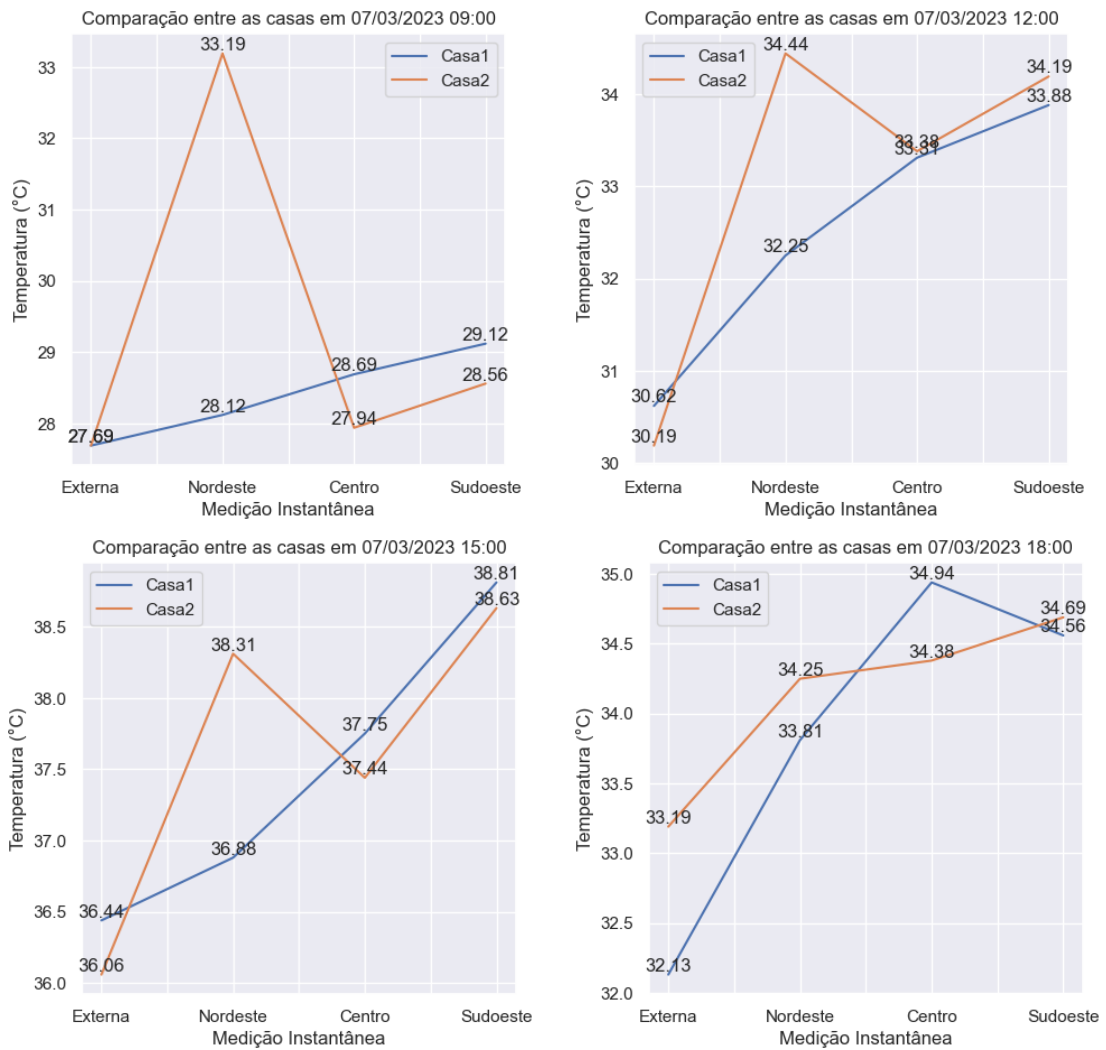
No dia seguinte, em 7 de março de 2023, já foi possível observar um efeito positivo do Eco Cooler instalado na Casa 1, com uma diferença térmica significativa, onde a Casa 1 passa ser mais fria do que a Casa 2, conforme ilustra a Figura 11, principalmente na face Nordeste, onde está instalado o Eco Cooler.

Figura 11 – Equipamento Eco Cooler instalado na janela da casa modelo



Fonte: Os autores (2023).

Figura 12 – Comparação entre as casas no dia 7 de março de 2023

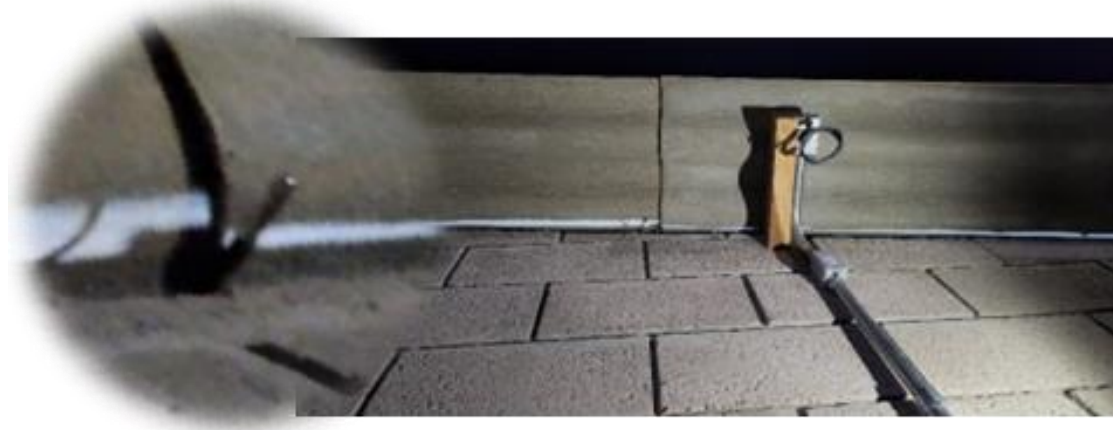


Fonte: Os autores (2023).

O sensor de temperatura externo passou por um ajuste de melhoria no dia 7 de março de 2023, sendo o mesmo realocado à sombra do beiral face Noroeste, evitando que a incidência

direta do sol afetasse a sua medida. A Figura 13 ilustra o posicionamento do sensor junto ao beiral.

Figura 13 – Ajuste da posição do sensor externo



Fonte: Os autores (2023).

Com o avançar das estações do ano, a posição do sol vem mudando aos poucos e o sol começou a incidir diretamente em outros sensores, alterando um pouco os resultados de aquisição de temperatura.

A Figura 14 ilustra uma composição de imagens que demonstram o aumento significativo da temperatura na janela face Sudoeste no final da tarde. A elevação da temperatura foi significativa e está associada à incidência direta do sol.

Nos demais dias o comportamento térmico se mostrou equilibrado, sendo, em sua maioria, a Casa 1 mais fria do que a Casa 2. Alguns dias possuem desempenho melhores do que os outros, sendo esse desempenho superior na Casa 1 com o Eco Cooler, pois está diretamente ligado à presença de correntes de vento, que adentram a residência por meio do equipamento Eco Cooler.

Até este momento, consideram-se os resultados muito satisfatórios, uma vez que na primeira etapa ficou comprovado que a Casa 1 era mais quente termicamente do que a Casa 2, mesmo a primeira semana de março de 2023 iniciando-se chuvosa.

Na segunda etapa essa diferença diminuiu a partir do dia 7, quando se colocou o Eco Cooler na Casa 1 na face Nordeste, demonstrando, assim, que o equipamento cumpriu, ainda que timidamente, a função de diminuir a temperatura.

Figura 14 – Incidência de sol na janela Sudoeste



Fonte: Os autores (2023).

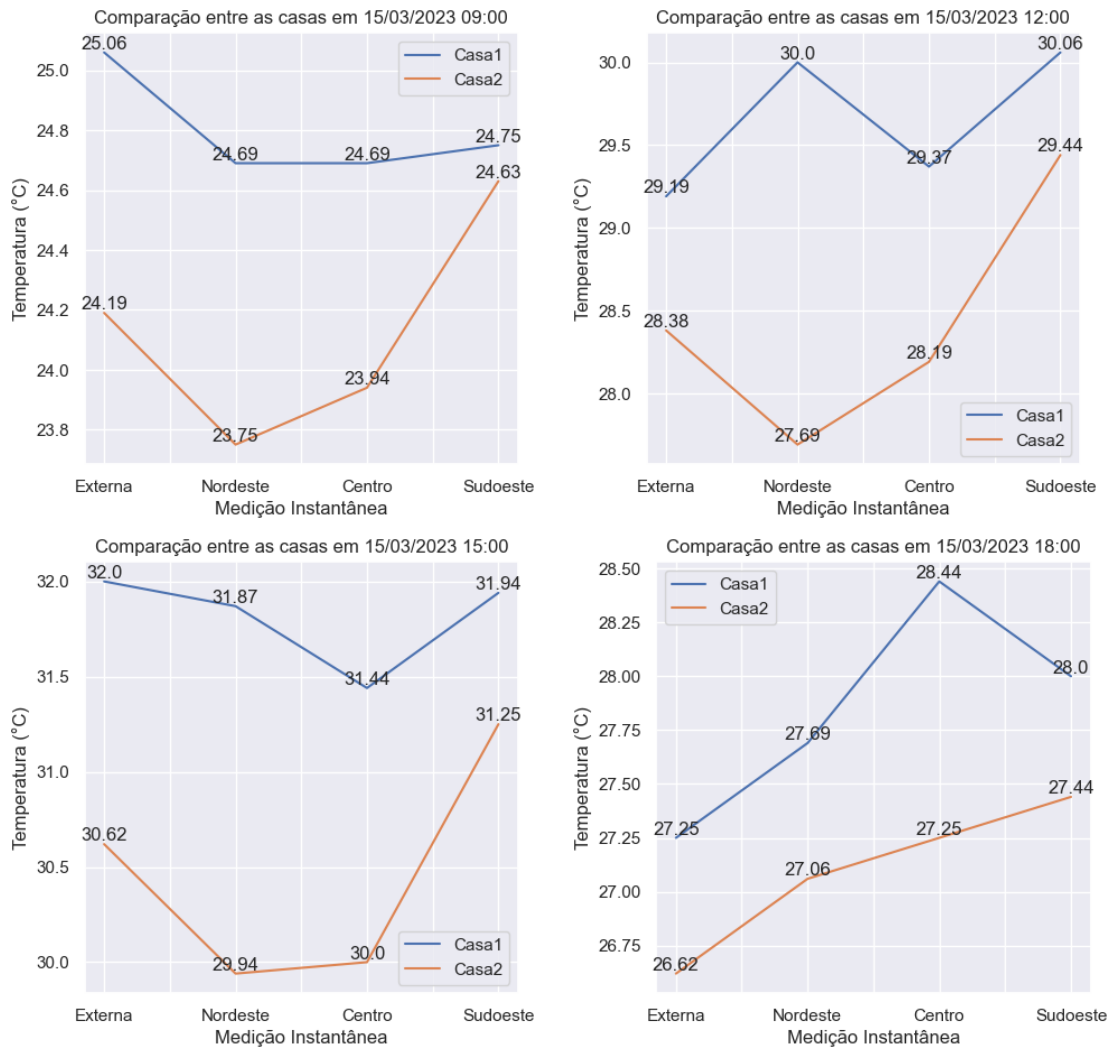
4.1.3 Terceira etapa

A terceira etapa iniciou-se em 14 de março de 2023, às 19h, até 22 de março de 2023, às 19h, quando foi colocado o Eco Cooler na janela face Nordeste da Casa 2, para comparação com a Casa 1, neste momento, sem o Eco Cooler.

O primeiro dia com o Eco Cooler instalado na Casa apresentou temperatura menor em todos os sensores e horários do dia, sendo que às 12h a aferição do sensor Nordeste apresentou mais de 3° C de diferença.

A diferença verificada entre as duas casas foi bem menor quando se analisam apenas os sensores posicionados no centro da casa. Isso acontece devido a dois motivos: o primeiro por conta do posicionamento do sensor que não recebe incidência de raios solares e o segundo por também não receber o fluxo de ar que entra pelo Eco Cooler. A Figura 15 ilustra os resultados obtidos no dia 15 de março de 2023.

Figura 15 – Comparação entre as casas no dia 15 de março de 2023



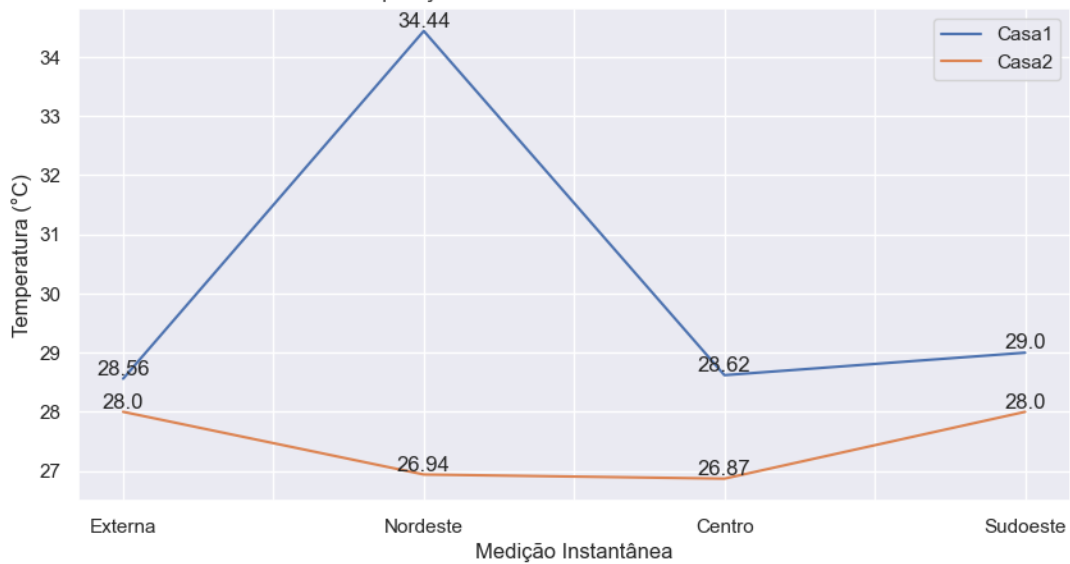
Fonte: Os autores (2023).

No dia 18 de março de 2023 houve uma diferença de temperatura entre as janelas Nordeste bastante significativa, em torno de 7,5°C de diferença; e no dia seguinte a diferença foi de 5,75° C, sendo a Casa 1 sem o Eco Cooler mais quente, conforme ilustra a Figura 16.

Os demais dias seguiram um perfil aproximado médio de 2,12° C de diferença entre a janela Nordeste da Casa 1 em relação à Casa 2.

Essa diferença de 7,5° C chamou a atenção para um fenômeno que já havia acontecido com o sensor externo. Apesar de os sensores das janelas Nordeste e Sudoeste ficarem dentro das casas, eles receberam contato direto com o sol, provocando a diferença de até 7,5° C. Isso pode ser consequência do material da cápsula que protege o sensor de temperatura.

Figura 16 – Diferença de 7,5° C entre as janelas Nordeste das Casas
Comparação entre as casas em 18/03/2023 09:00



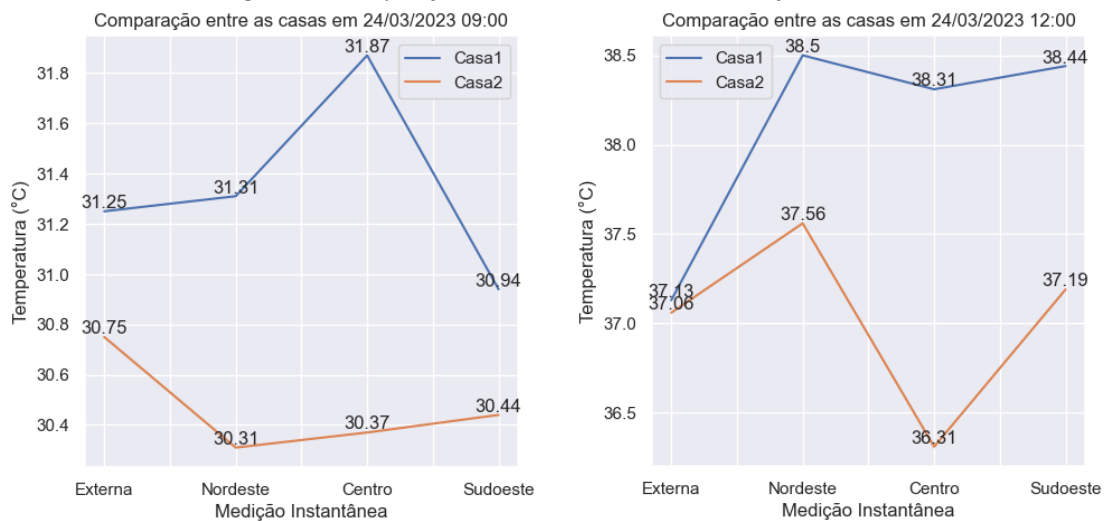
Fonte: Os autores (2023).

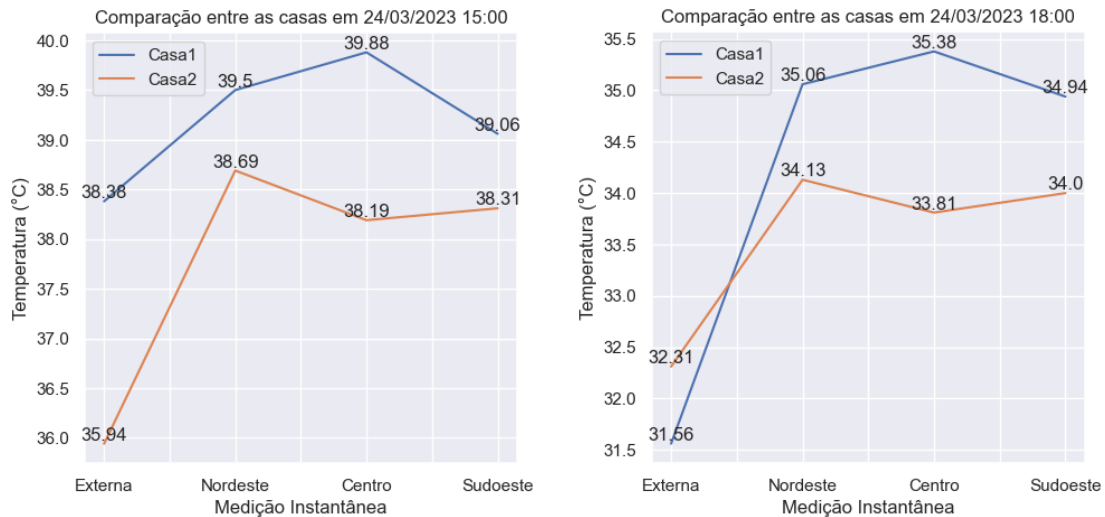
4.1.4 Quarta etapa

A quarta etapa iniciou-se em 22 de março de 2023, às 19h, até 28 de março de 2023, às 19h, quando foi colocado o segundo Eco Cooler na janela face Sudoeste da Casa 2, ficando a Casa 2 com dois equipamentos instalados e a Casa 1 sem nenhum Eco Cooler instalado.

Nesta etapa pode-se perceber uma eficiência considerável do Eco Cooler ao se analisar o sensor do Centro que nos outros cenários do experimento era pouco alterado. Nesse cenário ele demonstrou um esfriamento médio de 2° C durante todas as tardes, conforme pode ser visualizado na Figura 17.

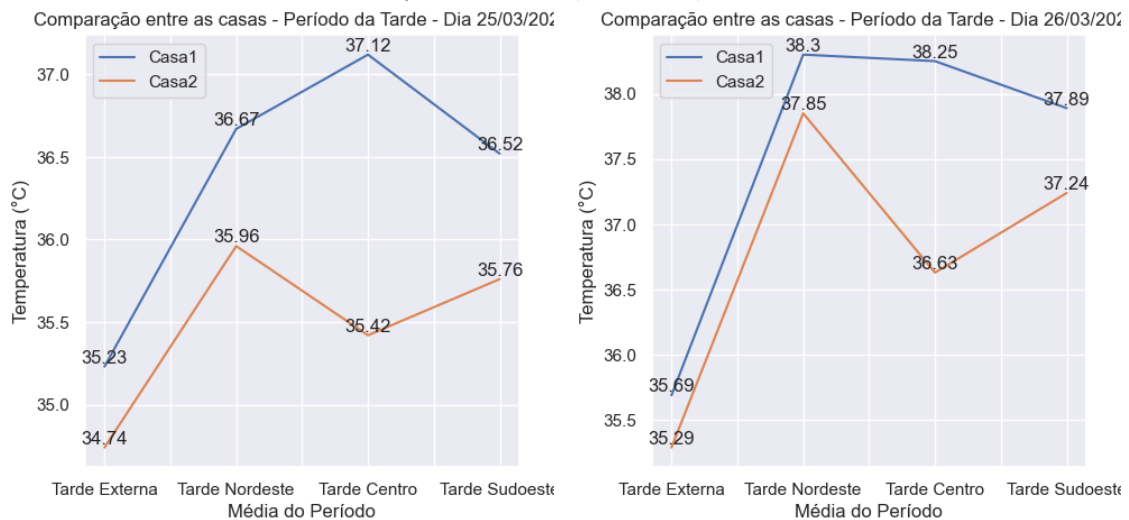
Figura 17 – Comparação entre as casas no dia 24 de março de 2023





Fonte: Os autores (2023).

Figura 18 – Comparação entre as casas nos dias 25 e 26 de março de 2023 considerando a temperatura média do período da tarde (12h até 18h)



Fonte: Os autores (2023).

4.2 Discussão dos resultados

Os testes foram realizados durante quatro semanas consecutivas. Na primeira semana, nenhuma das casas possuía o Eco Cooler instalado e foi registrada uma grande variação na temperatura em função das condições climáticas, que incluíram chuva e sol intenso. Na segunda semana, o Eco Cooler foi instalado apenas na Casa 1 e verificou-se uma diferença de 2° C na temperatura em relação à casa sem o dispositivo.

Na terceira semana, o Eco Cooler foi instalado na Casa 2 e a diferença na temperatura em relação à primeira semana foi ainda mais significativa. Entretanto, durante essa semana, foi identificado que um dos sensores de temperatura da casa sem o Eco Cooler estava exposto diretamente ao sol, o que pode ter influenciado na medição da temperatura.

Na quarta semana, o Eco Cooler foi instalado nas duas janelas da Casa 2 e todos os sensores foram reposicionados para que não houvesse incidência de sol direta nos sensores. Nessa semana os resultados foram ainda maiores, mantendo-se uma diferença de 2° C na

temperatura em relação à casa sem o dispositivo no período da tarde, um dos períodos mais quentes do dia.

5 CONCLUSÃO

De forma geral, os resultados obtidos no experimento sugerem que o Eco Cooler pode ser uma opção viável e econômica para a redução da temperatura em ambientes internos. Além disso, a possibilidade de produzir o equipamento a partir de materiais recicláveis e de baixo custo torna a sua utilização ainda mais interessante, especialmente em regiões onde as temperaturas elevadas são uma preocupação constante.

Entretanto, é importante ressaltar que o experimento realizado teve uma duração relativamente curta e que a eficácia do Eco Cooler pode variar em função de diversos fatores, como a localização da casa em relação à direção do vento e à incidência solar. Por isso, estudos complementares devem ser realizados para avaliar a eficácia do dispositivo em diferentes condições climáticas e ambientais.

Em resumo, o experimento mostra que o Eco Cooler é uma alternativa viável para reduzir a temperatura em ambientes internos, especialmente em locais com clima quente e seco como a região de Presidente Prudente-SP. Além disso, a construção do equipamento pode ser uma forma de incentivar a reciclagem de materiais, contribuindo para o meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET . **10º Censo de Reciclagem PET no Brasil 2015**. São Paulo, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: desempenho térmico de edificações – parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: edificações habitacionais: desempenho – parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

CHIAFITELA, Jéssica. Ar Condicionado Eco Cooler. **Ecociente**, 21 nov. 2017. Disponível em: <https://sites.unicentro.br/wp/educacaoambiental/2017/11/21/ar-condicionado-eco-cooler/>. Acesso em: 11 jul. 2019.

CONTRERAS, M. *et al.* A recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study). **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 123, p. 594-600, 2016.

CREAL-AL. **Como as garrafas PET estão sendo utilizadas na construção civil**. Alagoas, 2019. Disponível em: <https://www.crea-al.org.br/2019/01/inovacao-e-sustentabilidade-como-as-garrafas-pet-estao-servindo-de-insumo-para-construcao-civil/>. Acesso em: 7 out. 2020.

ZANIN, Maria; MANCINI, Sandro Donnini. **Resíduos plásticos e reciclagem**: aspectos gerais e tecnologia. São Carlos, SP: EDUFSCAR, 2004.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Diogo Branquinho Ramos, pela doação do equipamento de telemetria de temperatura ambiente – Tecsus Tecnologias para Sustentabilidade S.A, a Indústria e Comércio de Bebidas Funada pela doação das garrafas PET utilizadas na confecção do equipamento desta pesquisa, a empresa de estruturas Pré Moldados Panorama pela doação dos blocos de concreto para a construção dos protótipos.