

## Pesquisa experimental sobre o tema resfriamento evaporativo, uso de massa térmica e painéis radiantes para condicionamento térmico de edificação experimental

## Experimental research about the theme of evaporative cooling, use of thermal mass and radiant panels for thermal conditioning of experimental buildings

### RESUMO

André Luís de Sá Matias  
[andrematias@alunos.utfpr.com.br](mailto:andrematias@alunos.utfpr.com.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Eduardo Leite Krüger  
[ekruger@utfpr.edu.br](mailto:ekruger@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

O objetivo geral deste projeto é desenvolver um sistema de resfriamento, que seja capaz de prover condições de conforto ao ambiente e avaliar o desempenho térmico de um sistema de aquecimento e resfriamento passivo com baixo consumo de energia, composto por um módulo de aquecimento e resfriamento radiante capacitivo, alimentado por um coletor solar/radiador noturno. São apresentados resultados preliminares da avaliação do estudo experimental do sistema, realizado com células-teste em Curitiba, PR. Esse projeto experimental se tratou com uma primeira fase de análise e desenho dos elementos do sistema, uma segunda fase de construção dos dispositivos e uma terceira fase de provas e monitoramento com análise dos resultados preliminares. Foi identificada uma capacidade de resfriamento do sistema com valores médios de até 220 Wh/m<sup>2</sup>. dia utilizando um baixo consumo de energia, indicando-se um projeto promissor e com vantagens em seu uso.

**PALAVRAS-CHAVE:** Conforto humano. Construção sustentável. Desempenho. Energia – fontes alternativas. Sustentabilidade e meio ambiente.

**Recebido:** 19 ago. 2020.

**Aprovado:** 01 out. 2020.

**Direito autorial:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



### ABSTRACT

The aim of this project is to develop a cooling system, which is able to provide conditions of comfort to the environment and to assess the thermal performance of a passive heating and cooling system with low energy consumption, consisting of a radiant heating and cooling capacitive module, powered by a solar collector/night radiator. These are preliminary results of the experimental study of the system, carried out with test-cells in Curitiba, PR. This experimental project is a first phase of analysis and design of the elements of the system, a second phase of construction of the devices and a third phase of tests and monitoring with analysis of the preliminary results. A cooling capacity of the system was identified with average values of up to 220 Wh/m<sup>2</sup>.day using a low energy consumption, indicating a promising project with advantages in its use.

**KEYWORDS:** Human comfort. Sustainable construction. Performance. Energy – alternative sources. Sustainability and environment



## INTRODUÇÃO

Devido aos desafios que as mudanças climáticas nos impõem, torna-se necessário gerar uma mudança de paradigma em termos de como vemos a climatização no projeto arquitetônico e a demanda de energia no setor do ambiente construtivo.

Considerando o alto impacto que tem sobre essa problemática do consumo de energia para aquecimento e refrigeração, é necessário avançar na redução da demanda energética através da aplicação de estratégias de projeto bioclimático e implementação de sistemas de climatização passiva em uma concepção arquitetônica de edifícios com consumo de energia nulo.

O Acordo de Paris (dentro da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas) foi assinado em 2015 com o objetivo de estabelecer novas metas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e limitar o aquecimento global abaixo 2 ° C (COP21, 2015).

É necessário estabilizar a temperatura do planeta para reduzir o impacto negativo do desenfreado aquecimento global. Grande parte das emissões de GEE é resultado das operações de geração de energia elétrica usadas no setor de construção. Os edifícios representam cerca de 40% do consumo de energia primária na Europa e na maioria dos países desenvolvidos (UNIÃO EUROPEIA, 2012).

Grande parte dessa energia é usada para aquecimento ou resfriamento em edifícios, para proporcionar conforto aos usuários e como consequência, reduzir o consumo de energia primária destinada ao condicionamento de ar dos edifícios e às emissões de CO<sub>2</sub> tornou-se um objetivo fundamental na agenda internacional. Objetivo a ser alcançado através da elaboração e implementação de regulamentos de eficiência energética, como é o caso da Comunidade Europeia com a Diretiva 2012/27 / EU, onde é proposto o objetivo 20/20/20: redução de 20% nas emissões de gases de efeito estufa (em relação aos níveis de 1990), 20% de economia de energia com o aumento da eficiência energética e 20% de energia renovável na produção na UE (UNIÃO EUROPEIA, 2012).

Melhorar a eficiência energética dos edifícios para reduzir o consumo de energia primária e as emissões de GEE na Comunidade Europeia tem sido o objetivo na evolução dos regulamentos e códigos técnicos de cada um dos estados da União. Para alcançar esses objetivos, duas etapas fundamentais devem ser tomadas nas primeiras fases do processo de projeto arquitetônico integral: a redução da demanda de energia, usando critérios de projeto adequados às condições climáticas do local de implantação dos projetos e implementação de estratégias de climatização (aquecimento e refrigeração) que tirem proveito dos potenciais naturais que o ambiente oferece.

Nesse sentido, o objetivo geral deste projeto foi desenvolver um sistema de resfriamento passivo (SRP) que seja capaz de fornecer conforto nos períodos quentes do local onde se encontra instalado. Se trata de um projeto experimental, com uma primeira fase de análise e desenho dos elementos do sistema, uma segunda fase de construção dos dispositivos e implementação na câmara climática experimental e uma terceira fase de teste e monitoramento com a análise dos resultados necessários para chegar a conclusões finais.

## MATERIAL E MÉTODOS

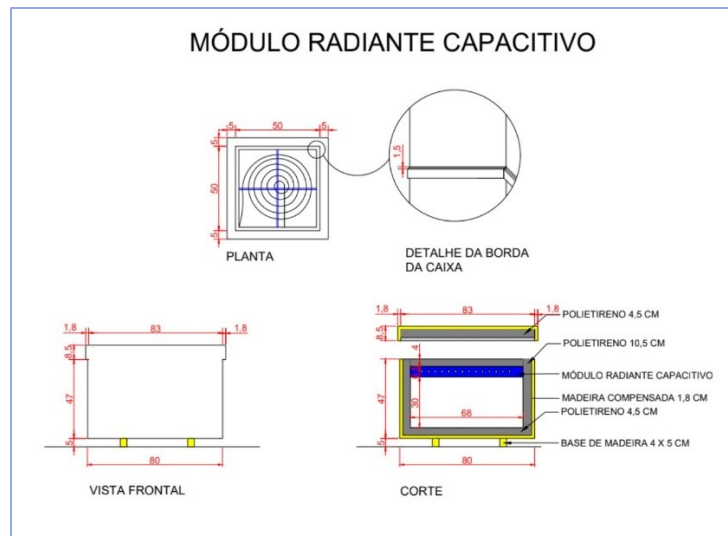
A metodologia desenvolvida nesse estudo envolveu o desenho, dimensionamento e a montagem de um sistema de resfriamento/aquecimento para melhoria do desempenho térmico da Câmara Bioclimática de Baixo Custo (CBBC), localizada na Sede Ecoville, Campus da UTFPR em Curitiba, PR. A CBBC é composta por dois módulos independentes de 5,4m<sup>2</sup>, o Módulo de Controle (MC) e o Módulo Experimental (ME), providos de um sistema de rotação manual que possibilita orientá-los para pontos cardeais distintos.

No decorrer da pesquisa foram conduzidos monitoramentos térmicos após a implementação de um sistema passivo que envolve painéis radiantes no interior do ambiente, um tanque de armazenamento de energia e uma unidade geradora de calor/frio.

O sistema de resfriamento/aquecimento passivo é composto por três partes, sendo:

- a) Módulo Radiante Capacitivo (Figura 1), sendo este composto por três módulos de madeira: módulo de controle (Célula de controle - CC), módulo com sistema experimental a avaliar (Célula Experimental) e o módulo com sistema de resfriamento evaporativo indireto;

Figura 1 – Projeto e dimensionamento do módulo capacitivo

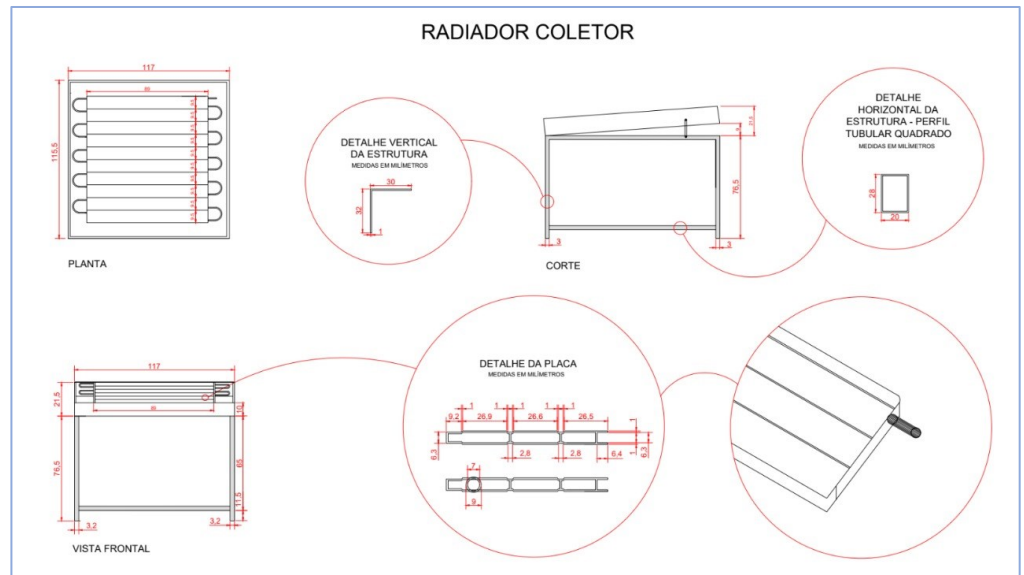


Fonte: Os autores (2020)

- b) Radiador Coletor (Figura 2), sendo este montado sobre uma estrutura metálica (Figura 3) com possibilidade de ajustar a inclinação do painel. O painel radiador é composto por dez placas de alumínio (Figura 4) com terminações de conexão impressas em impressora 3D com material PLA (ácido poliláctico, um polímero termoplástico);



Figura 2 – Projeto e dimensionamento do radiador coletor



Fonte: Os autores (2020)

Figura 3 – Estrutura metálica do painel radiador



Fonte: Os autores (2020)

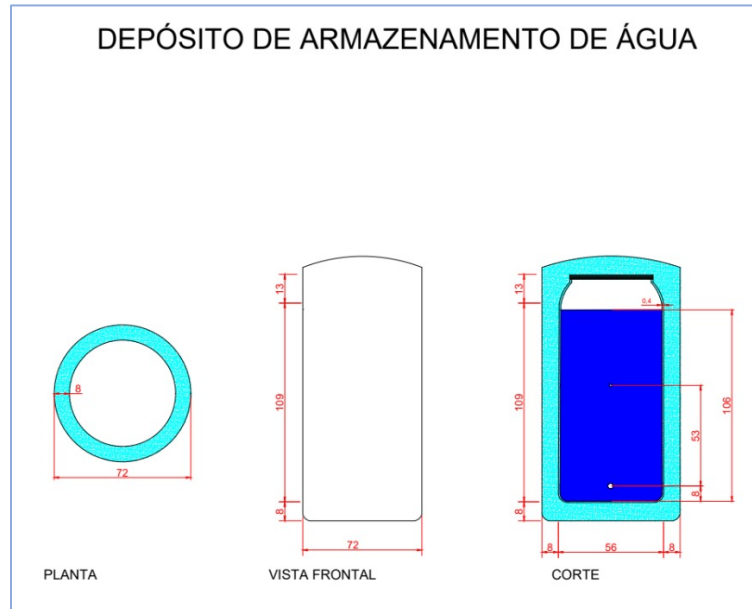
Figura 4 – Placas de alumínio do painel radiador



Fonte: Os autores (2020)

- c) Depósito de Armazenamento de Água (Figura 5), sendo este um tanque de polietileno com capacidade de armazenamento de aproximadamente 200 litros (Figura 6), envolto exteriormente por manta isolante PET para fins de isolamento térmico.

Figura 5 – Projeto e dimensionamento do depósito de armazenamento de água



Fonte: Os autores (2020)

Figura 6 – Depósito de Armazenamento de Água



Fonte: Os autores (2020)

Além do descrito e a fim de um melhor embasamento para a pesquisa, também foi feito:

- a) Registro e atualização periódica de dados atmosféricos para embasar análise futuras a partir do site "EARTH", uma visualização das condições

- climáticas globais previstas por supercomputadores e atualizado a cada três horas (EARTH, 2020), onde foi feita a coleta de dados do vento, temperatura, umidade relativa, total de água precipitável e total de água na nuvem.
- b) Registro e atualização periódica de dados de nebulosidade a partir de relatórios METAR, um relatório codificado associado às observações meteorológicas e utilizado para fornecer informações sobre condições do tempo na superfície (REDEMET, 2020), o qual geralmente é composto pelos seguintes itens: vento, visibilidade, alcance visual, tempo presente na pista, nebulosidade, temperatura do ar e do ponto de orvalho e pressão ao nível do mar (ajuste de altímetro). Esses relatórios foram extraídos do site REDEMET, a Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica brasileira.
  - c) Verificação dos dados de experimentos realizados na CBBC com alunos dos cursos de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo da UTFPR, que consistia na permanência dos estudantes dentro de uma das câmaras (Módulo de Controle ou Módulo Experimental), podendo ou não haver alteração dos elementos inseridos na câmara (temperatura do ar condicionado, altura da cortina, abertura da janela) dependendo da câmara em que o aluno estivesse inserido, de forma que avaliações de pós ocupação (APO's) eram feitas pelos alunos após a participação no experimento.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo constatado através dos resultados, produzidos pela equipe de pesquisa associada a esse projeto e expostos de forma sucinta em uma publicação submetida ao Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC 2020), foi possível identificar um potencial de resfriamento médio do sistema de 220 Wh/m<sup>2</sup>dia, verificada tanto nas temperaturas médias como nas máximas internas. Deve-se lembrar que esse potencial depende de vários fatores externos do ambiente como umidade da atmosfera, condições noturnas de nebulosidade e da temperatura externa. Também é possível dizer que mesmo os fatores externos na cidade de Curitiba não sendo os mais favoráveis, o sistema pode ser considerado vantajoso.

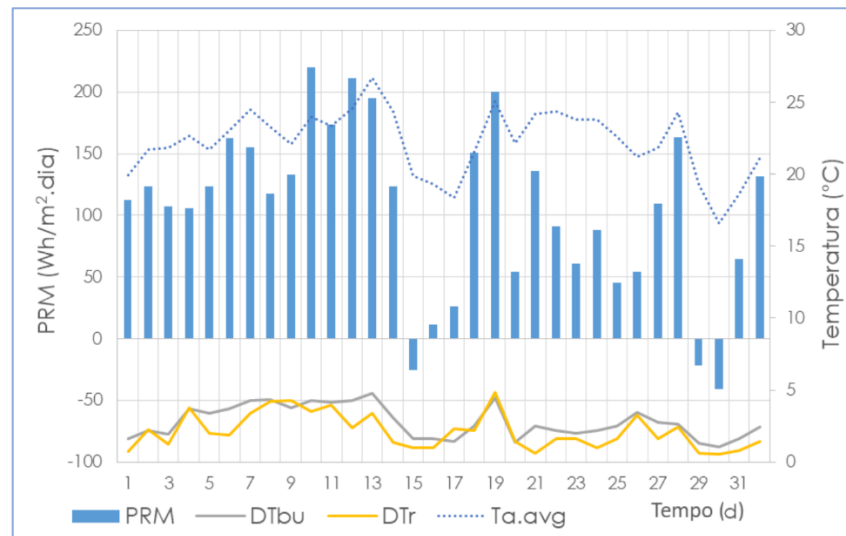
O potencial de resfriamento do sistema pode ser avaliado pela redução da temperatura em CE em relação à temperatura de CC, sendo que maior essa diferença, maior o potencial de resfriamento. O potencial de resfriamento médio (PRM) é definido como a quantidade de energia por unidade de tempo e de área que pode ser retirada pelo sistema como valor médio durante um período de 24 horas.

Nos 32 dias de monitoramento, PRM variou entre 220,3 Wh/m<sup>2</sup>dia e -40,6 Wh/m<sup>2</sup>dia, com média de 105,2 Wh/m<sup>2</sup>dia (Figura 7). Onde valores negativos significam que não houve resfriamento.

Na Figura 7, apresentam-se valores diários de PRM e das principais variáveis que influenciam o potencial de resfriamento: depressão da temperatura de bulbo úmido (DTbu), temperatura média ambiente (Ta.med) e depressão da temperatura da placa metálica (DTr).



Figura 7 – Potencial de resfriamento médio diário relativamente à depressão da temperatura de bulbo úmido e da temperatura da placa metálica versus temperatura média ambiente



Fonte: González e Krüger (2020)

## CONCLUSÃO

A capacidade de resfriamento do sistema foi verificada com potenciais de resfriamento médio do sistema de até 220 Wh/m<sup>2</sup>dia, sendo que esse valor depende especialmente do conteúdo de umidade da atmosfera, das condições noturnas de nebulosidade e da temperatura externa. Considerando que mesmo que as condições de céu e umidade em Curitiba não são as mais favoráveis, visto que não possui condições de verão mais secas e com menor grau de nebulosidade para um maior aproveitamento de resfriamento radiante noturno, o desempenho do sistema pode ser considerado vantajoso.

Em vista aos argumentos expostos, é possível afirmar que o trabalho aqui desenvolvido se mostra bastante promissor, podendo-se vislumbrar a vantagem de seu uso mesmo que em locais onde as condições não são aquelas em que se pode tirar um máximo proveito do sistema.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná por todo o apoio prestado.

## REFERÊNCIAS

COP21 – 21st CONFERENCE OF THE PARTIES. Sustainable Innovation Forum 2015. Disponível em: <http://www.cop21paris.org/>. Acesso em: 12.jul.2020.

UNIÃO EUROPEIA. Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de outubro de 2012, p.1 a 56. Bruxelas: Jornal Oficial da União Europeia, 2012.

EARTH. **About.** Disponível em: <https://earth.nullschool.net/about.html>. Acesso em: 18.jul.2020.

REDEMET. **Glossário.** Disponível em: <https://www.redemet.aer.mil.br/index.php?i=facilidades&p=glossario>. Acesso em: 18.jul.2020.

GONZÁLEZ, E.; KRÜGER, E.L. **Resultados preliminares do desempenho térmico de um sistema de resfriamento radiante capacitivo.** 18º Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído (ENTAC). CURITIBA. 2020