CONSTRUÇÃO DE CÂMARA BIOCLIMÁTICA DE BAIXO CUSTO PARA ESTUDOS DE AMBIÊNCIA TÉRMICA NO BRASIL[1]

TREVISAN, L. Y. I., Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), e-mail: livia.iwamura@gmail.com; TAMURA, C. A.,UTFPR, e-mail: cintiatamura@gmail.com; RIBEIRO, D. A., UTFPR, danieleaberibeiro@gmail.com; GOMES, B. L. M., UTFPR, e-mail: bia_monteiro_gomes@hotmail.com; DRACH, P. R. C., Universidade Estadual do Rio de Janeiro, e-mail: patricia.drach@gmail.com; HARA, M. M., UTFPR, e-mail: massayuki@utfpr.edu.br; KRÜGER, E., UTFPR, e-mail: ekruger@utfpr.edu.br

ABSTRACT

This article presents the construction of Cost-effective Bioclimatic Building Chamber (CBBC), an innovative Brazilian facility dedicated to the investigation of environmental comfort, bioclimatic architecture, and building performance. The CBBC project took into account the current Bioclimatic Zoning and the Technical Regulations for Energy Efficiency Labelling of Commercial Buildings. It was implemented in Bioclimatic Zone 1, a temperate wet maritime climate (Köppen-Geiger's Cfb type). CBBC is composed of two identical modules, a control and an experimental unit which can undergo modifications as to allow diverse experiments. The biggest challenge during construction was the low budget available, as discussed in this article. Construction phases and current status are shown as a project portfolio.

***Keywords**: Bioclimatic Zoning. Climate Chamber. Indoor Comfort.*

1 INTRODUÇÃO

O alto consumo de energia no condicionamento artificial de edificações alerta para a importância de se conciliar eficiência energética e conforto térmico no ambiente construído. Tendo em vista o uso preponderante de ambientes internos no meio urbano (BRASCHE; BISCHOF, 2005) e a busca por níveis mais elevados de conforto (PÉREZ-LOMBARD; ORTIZ; POUT, 2008), a otimização de padrões de ocupação pode ser uma tática para a melhoria do desempenho energético de edificações.

Uma câmara climática permite controlar variáveis ambientais e pessoais, além de simular a exposição humana a situações de conforto/stress térmico (CARVALHAIS, 2011). No Brasil, um levantamento preliminar não acusou até então a existência de câmara dedicada a estudos de conforto ambiental. A construção poderia estimular a realização de pesquisas comparativas, caso se possa reproduzir o modelo em outras localidades brasileiras.

Nesse contexto, o presente artigo objetiva apresentar o processo construtivo de uma câmara climática, um equipamento destinado a pesquisas sobre conforto ambiental, arquitetura bioclimática e desempenho térmico.

1 TREVISAN, L. Y. I.; TAMURA, C. A.; RIBEIRO, D. A.; GOMES, B. L. M.; DRACH, P. R. C.; HARA, M. M.; KRÜGER, E. L. Construção de câmara climática de baixo custo para estudos de ambiência térmica no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO,17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

2 MÉTODO

A seguir, é descrito o roteiro adotado na execução da câmara climática, doravante denominada "Câmara Bioclimática de Baixo Custo" (CBBC).

2.1 Caracterização da área de estudo

A CBBC foi instalada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, em Curitiba. A cidade enquadra-se na Zona Bioclimática 1, a mais fria do Brasil (ABNT, 2003). O clima local enquadra-se como temperado marítimo úmido (Cfb), na classificação de Köppen-Geiger. A Temperatura média anual é de 16,8°C, sendo fevereiro o mês mais quente (T_{mm}=20,6°C) e julho o mês mais frio (T_{mm}=12,9°C) (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007).

Os módulos de controle (M1) e experimental (M2) da CBBC foram instalados em uma área de terreno com 50m². O local de instalação foi escolhido pela facilidade de acesso, praticidade de operação e maximização de insolação e ventilação natural dos módulos M1 e M2.

2.2 Financiamento da pesquisa

Face às restrições orçamentárias, foram exploradas soluções de baixo custo, desde a seleção de materiais alternativos até a execução de serviços pela própria Universidade. Não obstante, o recurso financeiro disponível ainda era insuficiente para adquirir os materiais necessários à construção da CBBC. Assim, para viabilizar a realização da pesquisa, firmaram-se importantes parcerias com a iniciativa privada, conforme discriminado na Tabela 1.

Tabela 1 - Fornecimento de insumos para o projeto de pesquisa

Data	Empresa	Qtde	Insumos, equipamentos e serviços	Valor (R$)
14.10.2017	Placo Saint-Gobain	33	Painel de gesso acartonado 12,5x1200x1800mm, perfilados	1.235,62
21.10.2017	LP Brasil	30	Painel de OSB 11,1x1200x2400mm	693,95
26.10.2017	Eternit	30	Painel Wall 55x1200x2500mm	6.239,84
20.12.2017	Pado	2	Kit dobradiças, fechadura, cadeado	377,12
16.01.2018	Philco Eletrônicos SA	2	Ar condicionado split 9000 BTU, 220V	1.278,16
16.02.2018	Delta Containers	1	Execução CBBC em container	26.000,00
Total				35.824,69

Fonte: os autores

A Delta Containers ficou responsável por fornecer insumos e mão-de-obra para a construção da CBBC, por meio de acordo de cooperação técnica firmado com a Universidade em outubro de 2017. Além disso, foram recebidas doações das empresas Eternit, LP Brasil, Pado, Philco Eletrônicos S.A. e Placo Saint-Gobain.

Cada doação foi registrada em uma nota fiscal, com a discriminação dos valores correspondentes aos itens doados, totalizando R$35.824,69 (Tabela 1). A aquisição desses insumos custaria em média o dobro do preço de custo, com base em uma pesquisa de mercado. Portanto, se não fossem as parcerias com a iniciativa privada, a execução da envoltória da CBBC

demandaria um investimento adicional da ordem de R$70 mil.

2.3 Concepção da CBBC

A concepção teve como ponto de partida o *Laboratory for Occupant's Behaviour, Satisfaction, Thermal Comfort and Environmental Research* (LOBSTER), situado no *Karlsruhe Institute of Technology* (KIT), Alemanha. O LOBSTER é uma câmara climática de alta performance, cuja troca de calor radiante se dá através das paredes, teto e piso, com controle individualizado da temperatura superficial. É composto por dois ambientes adjacentes de 24m² cada, sendo o conjunto dotado de um sistema automático de rotação que permite alterar a orientação das fachadas (TAMURA; KRÜGER, 2016).

A CBBC, por sua vez, é composta por dois módulos independentes de 5,4m², instalados sobre um sistema de rotação manual. A climatização ocorre por aquecimento/resfriamento convectivo. Há, portanto, limitações de controle fino das condições térmicas; todavia, equipamentos de ar condicionado do tipo Split já são difundidos no Brasil, o que facilita a replicação desse sistema.

As diferenças entre LOBSTER e CBBC têm como pano de fundo a disponibilidade financeira. O LOBSTER foi financiado pelo Ministério da Economia e Tecnologia da Alemanha, com a concessão de 1.227.224 EUR (ENARGUS, 2018), o que equivale atualmente a cerca de cinco milhões de reais. Em contrapartida, o orçamento previsto para a CBBC era de aproximadamente 100 mil reais. Cumpre destacar que a proposta de baixo custo foi um fator que viabilizou a construção da CBBC, além de favorecer sua replicação em outras localidades com restrições orçamentárias.

Outra premissa foi proporcionar condições satisfatórias para o estudo da percepção de conforto no ambiente construído. Além disso, destacam-se as seguintes diretrizes técnicas adotadas no projeto da CBBC:

- Adequação às normas pertinentes: atendimento às exigências legais;
- Exposição ao meio externo: estudo de condições climáticas reais;
- Dois módulos *walk-in*: pesquisas comparativas de conforto ambiental;
- Rotação independente dos módulos: estudos de orientação solar;
- Transportabilidade: para o caso de uma futura relocação;
- Replicabilidade: padronização da construção em container.

A concepção da CBBC partiu da NBR 15.220/2003: Desempenho térmico de edificações, a qual define o Zoneamento Bioclimático brasileiro e estratégias construtivas para otimizar o desempenho térmico da edificação (ABNT, 2003). No Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações (RTQ), por sua vez, são avaliados os sistemas de iluminação e de condicionamento de ar e a interface da edificação com o exterior (PROCEL, 2013). Com base no RTQ, o dimensionamento da envoltória da CBBC foi norteado pelo cálculo da Transmitância (U) e da Capacidade Térmica (CT), conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Características da envoltória da CBBC

Envoltória	Materiais	Espessura	Transmitância Térmica		Capacidade Térmica	
			Requerido	Obtido	Requerido	Obtido
Parede	Aço corten PU expandido Painel Wall* Painel OSB Camada de ar Painel de gesso acartonado	2 mm 15 mm 55 m 11,1 mm - 12,5 mm	$\leq \frac{2{,}50\ W}{m^2.K}$	$\frac{0{,}87\ W}{m^2.K}$	$\geq \frac{130\ kJ}{m^2.K}$	$\frac{122{,}54\ kJ}{m^2.K}$
Teto	Aço corten PU expandido Painel Wall* Painel OSB Camada de ar Painel de gesso acartonado	2 mm 15 mm 55 m 11,1 mm - 12,5 mm	$\leq \frac{2{,}30\ W}{m^2.K}$	$\frac{0{,}87\ W}{m^2.K}$	não requerido	$\frac{122{,}54\ kJ}{m^2.K}$
Piso elevado	Piso vinílico Painel Wall* Madeira naval PU expandido	3mm 55mm 28mm 15mm	$\leq \frac{2{,}30\ W}{m^2.K}$	$\frac{0{,}997\ W}{m^2.K}$	não requerido	$\frac{121{,}95\ kJ}{m^2.K}$

Fonte: os autores

Enquanto que a transmitância resultante está bem abaixo do máximo recomendado, a capacidade térmica não chega a atingir o mínimo requerido (Tabela 2). A dificuldade maior, neste caso, foi garantir massa térmica sem alterar o padrão construtivo de construções em container e considerando as possibilidades de doação dos parceiros. O projeto executivo da CBBC partiu dessas premissas, sendo aperfeiçoado simultaneamente à execução e à instalação dos módulos na Universidade.

3 RESULTADOS

O caráter flexível do projeto levou a escolher técnicas de construção a seco. A estrutura básica da câmara climática foi construída em container, seguindo uma tendência construtiva intensificada a partir na década de 2010 (BUGES *et al.*, 2014), com a reutilização de containers para os mais diversos usos. A disponibilidade em escala mundial e a padronização das dimensões foram decisivas para a escolha da construção em container. A CBBC foi construída na Delta Containers, no período de novembro de 2017 a fevereiro de 2018, conforme ilustrado na 1ª parte do memorial fotográfico.

Figura 1 - montagem dos módulos



Figura 2 – pintura externa e PU aspergido



Figura 3 - instalação de Painel Wall



Figura 4 – rede elétrica e painel de OSB



Figura 5 – painel de gesso acartonado



Figura 6 - pintura e acabamento interno



Fonte: os autores

Para enquadrar a CBBC no RTQ, o container foi revestido com poliuretano aspergido (Figura 2), Painel Wall (Figura 3), painel de OSB (Figura 4) e painel de gesso acartonado (Figura 5). Em paralelo, na Universidade, foram concretadas duas estacas (Ø=30cm, H=4,00m) e dois blocos estruturais de

concreto armado (50x50x50cm), sobre os quais instalaram-se dois sistemas de rotação independentes. Também foram executadas redes de alimentação de energia e lógica para a CBBC. Essas etapas são apresentadas na 2ª parte do memorial fotográfico.

Figura 7 - fixação sobre eixo de rotação



Figura 8 - infraestrutura elétrica e lógica



Figura 9 - acabamento interno



Figura 10 - ar condicionado e cercado



Figura 11 – calçada e sistema de apoio



Figura 12 – identificação da CBBC



Fonte: os autores

A CBBC foi instalada na Universidade em 16 de fevereiro de 2018 (Figura 7). A seguir, finalizou-se a instalação de elétrica, lógica (Figura 8), piso vinílico, rodapés, portas, persianas (Figura 9), ar condicionado, cercado (Figura 10), calçamento, sistema de apoio (Figura 11) e adesivos (Figura 12).

Atualmente, a CBBC está na fase final de ajustes pós-instalação. Para reverter o quadro de esgotamento dos recursos financeiros, foi retomada a busca por parcerias com a iniciativa privada, com foco no mobiliário e outros elementos de acabamento. A próxima etapa consiste na aquisição de sensores e equipamentos de medição, para instrumentar os módulos. Na sequência serão realizados os testes preliminares da CBBC, considerando a análise da estrutura existente e a proposta de futuras adequações.

4 CONCLUSÕES

A Câmara Bioclimática de Baixo Custo é um instrumento inédito no Brasil. O adequado emprego da CBBC pode torná-la um instrumento de fomento ao ensino, pesquisa e desenvolvimento tecnológico do conforto ambiental, em estudos da adaptação construtiva à variabilidade bioclimática brasileira, por exemplo. Além desse, destacam-se outros objetos de estudo em potencial: sistemas de condicionamento passivo, eficiência energética de edificações; e validação de normas de desempenho de materiais e técnicas construtivas.

Por fim, faz-se necessário ressaltar que a realização de pesquisas está sendo severamente afetada pelo atual cenário político-econômico brasileiro. A escassez e o atraso no repasse de recursos financeiros teria inviabilizado a construção da CBBC, que só foi concretizada graças às parcerias firmadas entre empresas e a Universidade. Assim, cumpre prestar os agradecimentos às instituições e às pessoas que acreditaram em nosso trabalho.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Tecnológica Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, pelo suporte ao desenvolvimento desta pesquisa. À Universidade Federal da Integração Latino-Americana, pela concessão de afastamento para fins de capacitação. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelas bolsas de estudo e auxílio financeiro ao projeto de pesquisa. À Delta Containers, pelo fornecimento e execução da CBBC, e à Eternit, LP Brasil, Pado, Philco Eletrônicos S.A. e Placo Saint-Gobain, pelas doações de aparelhos e insumos.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 15.220**: Desempenho térmico de edificações. São Paulo, 2003.

BRASCHE, S.; BISCHOF, W. Daily time spent indoors in German homes–baseline data for the assessment of indoor exposure of German occupants. **International journal of hygiene and environmental health**, v. 208, n. 4, p. 247-253, 2005.

BUGES, N. L.; STUMPO, L. F. A.; PORTO, F. H. F. S.; LÓPEZ, V.; ANDREASI, W. A. A eficiência energética de contêiner adaptado como residência nos diversos climas do Brasil. In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...** Maceió: ENTAC, 2014.

CARVALHAIS, C. A. A. **Contribuição para o estudo da tolerância humana a ambientes térmicos extremos: ensaios de validação de câmara climática**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.

ENARGUS. Disponível em: <https://www.enargus.de> Acesso em: 20.mar.2018.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007.

PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J.; POUT, C. A review on buildings energy consumption information. **Energy and Buildings**, v. 40, p. 394-398, 2008.

PROCEL - PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Manual para Aplicação do RTQ-C**. Brasília: PROCEL, 2013.

TAMURA, C. A.; KRUGER, E. L. Estudo piloto em câmara climática: efeito da luz natural em aspectos de saúde e bem-estar não relacionados à visão. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 2, p. 149-168, abr-jun.2016.