XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8380

Modelo físico simplificado para representação de estratégias bioclimáticas: concepção, construção e avaliação experimental

Simplified physical model for the representation of bioclimatic strategies: design, construction, and experimental evaluation

Gabriel de Bem
Instituto Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | gabriel.bem@ifsc.edu.br

Resumo

A materialização física para análise de estratégias bioclimáticas em arquitetura ocorre majoritariamente com o uso de dispositivos para simulação da ventilação natural, da trajetória solar e comportamento lumínico da edificação. Contudo, a representação do comportamento térmico da edificação restringe-se ao uso de softwares de simulação termo energética, comumente explorados em disciplinas optativas ou de pós-graduação. Como forma de contemplar o comportamento térmico da edificação nas simulações físicas, este artigo tem como objetivo apresentar um modelo físico para representação de estratégias bioclimáticas em projetos de arquitetura. A partir de uma representação simplificada da incidência solar e de ventos, foram observadas variações térmicas resultantes das seguintes estratégias: mudanças nas propriedades térmicas e ópticas dos materiais, orientação solar, estações do ano, inércia térmica e resfriamento evaporativo. Apesar do modelo físico não reproduzir a complexidade dos fenômenos de transferência de calor, os resultados demonstram o potencial de uso do modelo para fins didáticos.

Palavras-chave: Arquitetura bioclimática. Maquete física. Ensino de projeto. Simulação. Desempenho de edificações.

Abstract

Physical materialization for analyzing bioclimatic strategies in architecture occurs predominantly using devices for simulating natural ventilation, sun path, and the natural light incidence and distribution. However, the representation of the building's thermal performance is generally limited to the use of simulation software, commonly explored in elective or postgraduate courses. To incorporate the building's thermal behavior into physical simulations, this article aims to present a physical model to represent bioclimatic strategies in architecture. A simplified representation of solar incidence and wind caused thermal variations from the following factors: changes in the thermal and optical properties of materials, solar orientation, seasonal variations, thermal mass, and evaporative cooling. Although the physical model does not fully capture the complexity of heat transfer phenomena, the results demonstrate its potential for educational purposes.

Keywords: Bioclimatic architecture. Physical model. Architectural design education. Simulation. Building performance.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8380

INTRODUÇÃO

O termo arquitetura bioclimática é atribuído aos projetos que, a partir da observação do comportamento climático regional, são dotados de estratégias passivas para resfriamento, aquecimento e aproveitamento da iluminação natural com vistas ao conforto térmico dos ocupantes do edifício [1]. O emprego de modelos físicos no processos projetual contribui com a avaliação dessas estratégias. Dentre as vantagens, as maquetes possibilitam o estudo e avaliação de aspectos específicos, tais como: localização de aberturas, orientação solar da edificação e inserção de elementos de sombreamento [2]. Para além destes exemplos, os modelos físicos encontrados com diferentes finalidades: compreensão espacial [3]; simulação do comportamento da ventilação natural a partir do uso de túneis de vento [4] e mesa d'água [5][6]; estudos de volumetria, relação com o entorno e topografia do terreno [7]; comportamento lumínico da edificação e da trajetória solar com uso do *heliodon* [8][9], e modelos reduzidos para avaliação da iluminação natural com céu artificial (caixa de espelhos) ou céu real [10]. No que diz respeito ao comportamento térmico da edificação, modelos em pequenas dimensões são incapazes de representar com fidedignidade o desempenho térmico esperado para uma edificação em escala 1:1 [11]. Por essa razão, acredita-se que essas análises são relegadas à simulação digital.

Todavia, durante o *SBSE Retreat 2022* [12] Alexandra Rempel (*SAE – University of Oregon*) conduziu uma oficina sobre estratégias passivas para controle térmico. A partir da combinação de um vaso de vidro esférico, gemas de vidro, miniventilador, esponja úmida e uma lâmpada para secagem foram observadas variações térmicas resultantes da combinação dos elementos. Esta atividade evidenciou que, ainda que não haja correspondência quantitativa ou equivalência física entre o modelo e uma edificação real, é possível observar as tendências no comportamento das estratégias representadas.

Sendo assim, baseado na oficina realizada, este artigo tem como objetivo apresentar um modelo físico simplificado, para fins didáticos, destinado à representação de estratégias bioclimáticas em projetos de arquitetura. Como objetivo específico, detalhar as etapas de concepção, fabricação e validação do modelo desenvolvido.

MÉTODO

A realização deste projeto caracteriza-se pelo método experimental com a técnica de construção de protótipos. O processo se divide em 5 etapas: (1) identificação de estratégias bioclimáticas para o clima de interesse; (2) projeto para produção; (3) construção do modelo; (4) desenvolvimento do ambiente experimental; e, (5) método de avaliação.

IDENTIFICAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS

O projeto, objeto da representação, está localizado na cidade de Canoinhas (26,17ºS e 50,39ºO), Santa Catarina, na zona bioclimática 1 M, muito fria com inverno moderado [13]. De acordo os dados climáticos da cidade mais próxima (Major Vieira/SC, 26,36ºS e 50,32ºO) disponíveis na ferramenta online ProjetEEE [14], a região apresenta

condições climáticas de desconforto por frio durante 73% do ano, conforto térmico em 16% e desconforto por calor em 11%. As estratégias bioclimáticas para a região incluem inércia térmica para aquecimento, aquecimento solar passivo, ventilação natural e, em menor proporção, sombreamento (7%) e resfriamento evaporativo (3%).

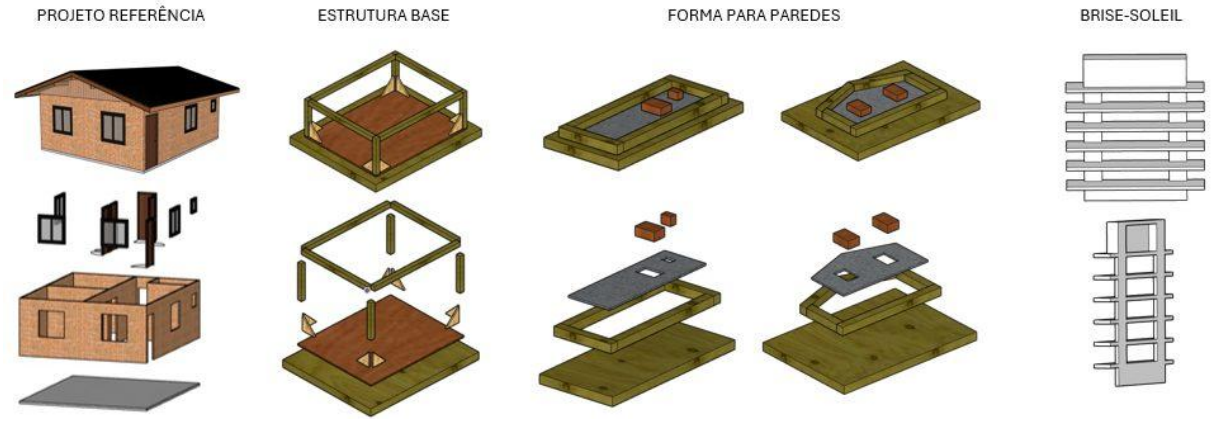
Todavia, para ampliar as possibilidades didáticas, optou-se por representar, além das estratégias indicadas, soluções como inércia térmica para resfriamento, alterações na resistência térmica da envoltória e refletância das superfícies.

PROJETO PARA PRODUÇÃO

O modelo físico corresponde a uma habitação de interesse social, representado na escala 1:20 e contempla apenas a envoltória e vãos de janelas, para simplificar a substituição dos componentes e visualização dos elementos.

O projeto para produção da estrutura da casa e das fôrmas para as paredes de argamassa foram modelados no *SketchUp*, adotando-se a técnica de perspectiva explodida para facilitar a montagem. Este mesmo software foi utilizado na modelagem do brise-soleil e prateleira de luz, exportados na extensão .stl, para posterior impressão em 3D (Figura 1). O *software* AutoCAD foi utilizado para o desenho das paredes e cobertura, os quais foram exportados na extensão .dxf para corte a laser em materiais planos.

Figura 1: Perspectiva explodida e projeto para produção



Fonte: o autor.

MATERIALIZAÇÃO

Além da compra de insumos, foram reaproveitadas sobras dos laboratórios de modelagem e práticas construtivas, resultando numa variabilidade de elementos com propriedades térmicas e ópticas distintas: pinus, MDF, compensado laminado, ABS, policarbonato translúcido, EPS 5mm, filamento PLA, manta térmica aluminizada, argamassa auto niveladora e corpos de prova em argamassa.

A estrutura base do modelo e as fôrmas para as paredes de argamassa foram beneficiados com serra fita (*MAKSIWA SF 400 C*) e serra circular de bancada (*DEWALT DW745-B2 10")*, montados posteriormente com cola universal para madeira e parafusos. Foram construídas duas bases, a serem intercaladas entre os ciclos de

simulações, a fim de reduzir o efeito cumulativo da irradiação por onda longa no interior do modelo.

Um jogo de paredes foi confeccionado em argamassa autonivelante *(Cinza Inkor)*, reforçadas com tela hexagonal galvanizada malha ½", 24 BWG e barras de aço 4,2mm nos vértices das aberturas. A superfície interna das fôrmas foi untada com vaselina em pasta previamente à aplicação da argamassa.

O brise-soleil e a prateleira de luz foram impressos em Modelagem por Deposição Fundida (FDM - *GTMAX3D Core H4*) com filamento PLA Premium Branco 1,75 mm (*F3D Brasil*), com as seguintes configurações: velocidade de impressão de 35 mm/s, temperatura do bico extrusor de 205°C, espessura das camadas de 0,2 mm, preenchimento *gyroid* de 15% e temperatura da mesa 60°C.

O corte dos materiais planos foi realizado em cortadora a laser (*Automatisa da Laser Solutions*). Os materiais, os respectivos componentes construtivos e as configurações do equipamento são detalhadas no Quadro 1.

Quadro 1: Materiais e configuração do corte a laser

Material	Componentes	Pressão de ar comprimido (MPa)	Velocidade (mm/s)	Potência do laser (%)
MDF 4mm	Cobertura e paredes	0,8	0,6	100
MDF 9mm	Paredes	1	0,2	100
Policarbonato translúcido 8mm	Paredes	0,7	0,5	100
ABS 4mm	Cobertura e paredes	0,4	0,4	100

Fonte: o autor.

MONTAGEM

Para promover substituições ágeis no modelo, foi utilizado velcro na superfície dos pilares da estrutura base (ganchos/macho) e na superfície das paredes (laços/fêmea). O brise-soleil e a prateleira de luz são fixados com uma fita adesiva imantada. Tanto para o sistema de cobertura quanto de vedações verticais é possível o incremento da resistência térmica a partir da disposição da placa de EPS ou da manta térmica aluminizada.

AMBIENTE EXPERIMENTAL

O ambiente experimental contempla os seguintes componentes: simulador de variáveis ambientais, superfície gráfica de simulação e sensor de monitoramento térmico.

O modelo desenvolvido possibilita, de forma simplificada, a representação da incidência de irradiação solar e dos ventos predominantes. Uma luminária equipada com uma lâmpada de secagem infravermelho de 250W (*Empalux*), representa tanto a componente visível da incidência solar quanto o aquecimento resultante da irradiação infravermelha (Figura 2, à esquerda acima). A incidência de ventos é resultado do acionamento de um miniventilador (*BMF 962*). A representação da estratégia de resfriamento evaporativo ocorre a partir do preenchimento do tanque com água (Figura 2, à direita acima).

A superfície de simulação, impressa em lona, contém a demarcação da posição dos componentes (Figura 2, à esquerda abaixo). A carta solar plotada no centro orienta a posição do modelo em relação à orientação da fachada a ser avaliada. A localização da luminária é determinada a partir das coordenadas solares (azimute e altura solar) para o solstício de inverno (20/06) e verão (21/12) em três horários: 9h, 12h e 15h. Da mesma forma, a direção dos ventos predominantes para os dois dias orienta o posicionamento do miniventilador. As coordenadas solares e a orientação cardeal dos ventos predominantes foram obtidas a partir da aplicativo *Web 3D Sun-Path* [15] e da análise dos dados climáticos disponíveis na plataforma *climate.onebuilding.org* [16] no aplicativo baseado em *Web, CBE Clima Tool* [17].

Para monitoramento térmico são utilizados dois sensores de temperatura com display LCD (*Dugold DG010B*) (Figura 2, à direita abaixo), posicionados dentro e fora do modelo, em região sombreada e livre da incidência de irradiação.

Figura 2: Componentes utilizados no ambiente experimental



Fonte: o autor.

A descrição e o valor dos componentes utilizados para simulação do ambiente experimental são detalhados na Tabela 1.

Tabela 1: Valor dos componentes utilizados

Item	Quantidade	Unidade	Valor (R$)
Termômetro LCD Ret. Branco -50+50 cabo 1,5m	2	pç.	79,45
Bateria alcalina LR 44 1,5V – com 10 unidades	1	un.	8,00
Luminária Articulada	1	un.	63,65
Lâmpada de secagem infravermelho 250W 220V	1	un.	22,35
Miniventilador Umidificador	1	un.	47,70
Fonte carregadora 10W, 5V 2A	1	un.	19,90
Total			241,05

Fonte: o autor.

MÉTODO DE AVALIAÇÃO

O método desenvolvido para avaliação do modelo é dividido em duas etapas: (1) registro das informações definidas no início da processo e (2), ciclo de simulação que compreende a mudança da posição da luminária em função do horário de incidência solar (9h, 12h e 15h) assim como a coleta da temperatura interna e externa no início e término do ciclo, resultando na variação térmica (Δ_{ti}). Em razão do longo intervalo de amostragem do sensor de temperatura (60s), adota-se a média de duas medições

consecutivas para início e término do experimento. Os campos para preenchimento são detalhados no Quadro 2.

Quadro 2: Ficha de avaliação estruturada

<table>
<tr><td colspan="2">Ciclo nº:</td><td colspan="3">Observação:</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td colspan="2">Orientação solar:</td><td colspan="2">Estação do ano:</td><td colspan="4">Vento: Resfriamento evaporativo ( )</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Fachada</td><td colspan="2" rowspan="2">Cobertura</td><td colspan="4">Brise-soleil ( ) Fachada:</td></tr>
<tr><td colspan="4">Temperatura (°C)</td></tr>
<tr><td>ID</td><td>Material</td><td>Tipo</td><td>Material</td><td colspan="2">Interna (i)</td><td colspan="2">Externa (e)</td></tr>
<tr><td>FF</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">Duas águas ( )</td><td rowspan="2"></td><td>$^{o}C_{inicial\ (i)}$</td><td>$^{o}C_{final\ (f)}$</td><td>$^{o}C_{inicial\ (i)}$</td><td>$^{o}C_{final\ (f)}$</td></tr>
<tr><td>FLD</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>FLE</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">Plana ( )</td><td rowspan="2"></td><td>T_{ii}:</td><td>T_{if} :</td><td>T_{ei}:</td><td>T_{ef}:</td></tr>
<tr><td>FP</td><td colspan="2">Δ_{ti}:</td><td colspan="2">Δ_{te}:</td></tr>
</table>

Fonte: o autor.

O posicionamento da luminária deve respeitar a demarcação na superfície gráfica do azimute e altura solar (α). O ângulo da cúpula da luminária (γ) em relação à normal deve se aproximar do resultado da seguinte equação: $\gamma = 90^{o} - \alpha$. A posição da cúpula deve ser mantida, preferencialmente, equidistante do centro do modelo ao longo dos três registros (9h, 12h e 15h). O ângulo γ pode ser ajustado com auxílio de um transferidor de madeira para lousa. Adotou-se o período de 60s de incidência de irradiação em cada posição.

Ainda que se restrinja a rotação às quatro posições cardeais e a um mesmo tipo de material em cada ciclo, a variabilidade de materiais possibilita 480 combinações. Sendo assim, as substituições devem ser direcionadas de forma a obter resultados mais expressivos para a contextualização da estratégia bioclimática explorada

RESULTADOS

Os componentes resultantes da materialização assim como a etapa de avaliação experimental são apresentados na Figura 3. Em razão da limitada quantidade de Policarbonato Translúcido 8mm, o modelo foi rotacionado para expor as fachadas à irradiação. Sendo assim, mesmo não havendo material para todas as paredes, foi possível fazer as análises.

Figura 3: Componentes materializados e avaliação experimental



Fonte: o autor.

Foram realizadas cinco avaliações experimentais, detalhadas nas subseções abaixo.

AVALIAÇÃO 1: RESISTÊNCIA TÉRMICA DA FACHADA

Configuração inicial do modelo:

- Paredes: MDF 9 mm;
- Cobertura: MDF 4mm;
- Orientação solar: leste;
- Estação do ano: verão.

Durante o ciclo 1 a variação térmica interna no modelo (Δ_{ti}) foi de +0,4°C. No ciclo 2, após a redução da espessura das paredes para MDF 4mm, resultou em um Δ_{ti} de 0,8°C. Em função da menor espessura do material houve o aumento da transmitância térmica.

AVALIAÇÃO 2: RESISTÊNCIA TÉRMICA E REFLETÂNCIA DA COBERTURA

Configuração inicial do modelo:

- Paredes: MDF 4 mm;
- Cobertura: MDF 4mm;
- Orientação solar: leste;
- Estação do ano: verão.

Durante o ciclo 1, Δ_{ti} foi de +0,9°C. No ciclo 2 foram depositadas placas de EPS 5mm de cor branca na cobertura. O aumento da resistência térmica e da refletância ocasionaram a redução de Δ_{ti} para 0,5°C. Tal resultado demonstra o potencial de contribuição da cobertura na temperatura interna de edificações térreas, especialmente com pé direito baixo.

AVALIAÇÃO 3: ESTAÇÃO DO ANO

Configuração inicial do modelo:

- Paredes: FF, FLD e FP em Policarbonato translúcido 8mm; FLE MDF 4mm;
- Cobertura: MDF 4mm + EPS 5mm;
- Orientação solar: norte;
- Estação do ano: inverno.

Durante o ciclo 1, Δ_{ti} foi de +1,2°C. No ciclo 2 a simulação foi realizada no verão. Em virtude de a incidência de irradiação ser significativamente maior na cobertura (elevada altura solar), a Δ_{ti} observada foi de +0,7°C.

É importante compreender que, apesar da mudança de estação do ano, a temperatura do ar externo ao modelo não sofre alteração como ocorreria naturalmente em um ambiente real. Sendo assim, a variação térmica observada (maior no inverno e menor no verão) é resultado da incidência de irradiação através das aberturas, paredes e cobertura, o que acaba por isolar, em certa medida, a estratégia em análise.

AVALIAÇÃO 4: INÉRCIA TÉRMICA

Configuração inicial do modelo:

- Paredes: MDF 4 mm;
- Cobertura: MDF 4mm + EPS 5mm;
- Orientação solar: sudeste;
- Estação do ano: verão.

Durante o ciclo 1, Δ_{ti} foi 0,6ºC. A inserção dos blocos de argamassa no ciclo 2, em áreas sombreadas do modelo, resultou em uma Δ_{ti} de 0,3ºC. Este resultado ilustra o efeito da massa térmica para a redução da amplitude térmica da edificação ao longo do dia. Destaca-se a necessidade do registro da T_e nas análises, pois materiais com temperatura inferior a interna, poderão ocasionar resfriamento. Ainda, deve-se evitar o acionamento de ar-condicionado no ambiente, dado que as correntes de ar interferem no comportamento térmico do experimento.

AVALIAÇÃO 5: RESFRIAMENTO EVAPORATIVO

Configuração inicial do modelo:

- Paredes: MDF 4 mm;
- Cobertura: MDF 4mm;
- Orientação solar: norte;
- Estação do ano: verão.

Durante o ciclo 1 Δ_{ti} foi de +1,25ºC. No ciclo 2, foi acionado o resfriamento evaporativo na mesma direção dos ventos predominantes. Em virtude do posicionamento das aberturas, acarretou a redução de - 1,65ºC (Δ_{ti}). Este fenômeno é resultado da evaporação das partículas de água, característico dessa estratégia.

CONCLUSÃO

Conforme citado, a literatura contempla modelos físicos de pequenas dimensões para estudos de volumetria, integração com o entorno, análise de ventilação, insolação e iluminância. Acredita-se que em razão das limitações na fiel representação do comportamento térmico, estas análises acabam restritas às tecnologias digitais.

Contudo, baseado nas avaliações experimentais realizadas, foi possível representar o comportamento da edificação frente às variáveis climáticas e aos diferentes materiais e estratégias adotadas, tais como: inércia térmica para resfriamento; ventilação; resfriamento evaporativo, alteração das resistência térmica da envoltória e refletância das superfícies. Em etapas futuras serão avaliadas as demais estratégias (elementos de sombreamento e inércia térmica das paredes).

Destaca-se que além da simplicidade de manipulação, o ambiente experimental é resultado da integração de equipamentos de baixo custo. Além disso, o caráter desmontável do conjunto facilita o armazenamento e transporte. Apesar da simplicidade, o processo de concepção do modelo demandou etapas processuais empregadas em um projeto real: acesso à banco de dados climáticos; utilização de

ferramentas de análise climática e de estratégias projetuais; associação de *softwares* para desenho/modelagem, além de variados processos de materialização.

Melhorias no projeto e produção do modelo incluem o reforço das paredes de argamassa com fibra de PET (*Polietileno Tereftalato*), ajustes no projeto das fôrmas com a fixação das bordas com parafusos e modelagem das aberturas em formato de prisma trapezoidal (para facilitar a desforma). Para a simulação, a adoção de um sensor de temperatura com intervalo de amostragem inferior à 60s e maior precisão deixará o ciclo de avaliação mais iterativo e preciso.

Por fim, a manipulação dos modelos físicos trouxe agilidade no processo de observação e interação, além de trazer um caráter lúdico para os processos de ensino-aprendizagem e diversificar os métodos tradicionalmente utilizados nesta área.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (bolsas PIBIC) e ao IFSC pelo apoio financeiro. À docente colaboradora Aryane Spadotto, aos colegas do DACC, DAMM e aos discentes bolsistas Saul Dembinski e Gilmar S. Júnior.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, o autor utilizou o assistente de IA Gemini (versão 2026) para a tradução e melhoria de coesão do abstract. Após a utilização da ferramenta, o autor revisou e editou o conteúdo conforme necessário e assume total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] OLGYAY, V; LYNDON, D.; REYNOLDS, J.; YEANG, K. **Design with climate**: bioclimatic approach to architectural regionalism. 2. ed. Nova Jersey: Princeton University Press, 2015.

[2] PINA, S. A. M. G.; FILHO, F. B.; MARANGONI, R. F. Maquetes e modelos como estímulo à criatividade no projeto arquitetônico. In: **O processo de projeto em Arquitetura** - da teoria à tecnologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. p. 109-123.

[3] GOMES, A. P.; SILVA, C. C.; OLIVEIRA, A. R. A construção de maquetes físicas como recurso didático para o ensino de projeto arquitetônico na educação profissional técnica de nível médio. **Revista Educação Pública**, v. 20, n. 7, fev. 2020. DOI: https://doi.org/10-18264/REP

[4] MATOS, J. F.; LABAKI, L. C.; MATSUMOTO, E.; CAMARGO, R. M. de. Confecção de maquetes para analisar a eficiência de sheds através de testes de ventilação natural em túnel de vento. In: XVIII Congresso Interno de Iniciação Científica da Unicamp, 2010, Campinas. **Proceedings [...]** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2010.

[5] ROSSI, M. M.; VALE, F. I.; SHIMOMURA, A. R. P.; CHVATAL, K. M. S. A mesa d'água como ferramenta de apoio para a caracterização de um modelo genérico a ser ensaiado em túnel de vento. **Revista IPT Tecnologia e Inovação**, v. 3, n. 10, p. 70-80, abr. 2019.

[6] LIMA, L. L. de.; SHIMOMURA, A. R. P. O uso da mesa d'água: ventilação natural e o desafio de requalificar ambientes de escritórios. In: XVI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO & XII ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2021, Palmas. **Proceedings [...]** Palmas: Universidade Federal do Tocantins, 2021. p. 1076-1085.

[7] GRAEPP, M. M.; OLIVEIRA, H. D. C. de; NUNES, R. D. Maquetes físicas de estudo na idealização de projetos arquitetônicos. In: XXIV CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNICAMP, 24., 2016, Campinas. **Proceedings [...]** Galoá: Universidade Estadual de Campinas, 2016. DOI: https://doi.org/10.19146/pibic-2016-52058

[8] SOUZA, A. S. de. **Arquitetura bioclimática para instituição de ensino fundamental em São Gonçalo do Amarante/RN**. 2014. 268f. Dissertação (Mestrado Profissional em Arquitetura, Projeto e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

[9] SAUER, A. S.; COUTINHO, S. M.; MELLO, F. M. de.; CÓ, J. L. Ensino da concepção arquitetônica bioclimática com auxílio de maquetes físicas e heliodon. In: SUSTAINABLE URBAN COMMUNITIES TOWARD A NEARLY ZERO IMPACT BUILT ENVIRONMENT, SBE 16 Brazil&Portugal, 2016, Minho. **Proceedings [...]** Minho: Universidade do Minho, 2016.

[10] PEREIRA, F. O. R.; PEREIRA, R. C.; CASTAÑO, A. G. Quão confiáveis podem ser os modelos físicos em escala reduzida para avaliar a iluminação natural em edifícios? **Ambiente Construído**, v. 12, p. 131-147, mar. 2005. DOI: https://doi.org/10.1590/S1678-86212012000100009

[11] LIU, X.; XU, M. Thermal performance study of buildings and their corresponding scale models with identical constructions and geometrical similarity. **Journal of Engineering Research**, v. 12, p. 599-609, out. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.10.022

[12] SOCIETY OF BUILDING SCIENCE EDUCATORS. **SBSE Retreat 2022**. Bio-inspired Design: Biophilic, Biomimetic, and Bioclimatic Perspectives. 2022. Disponível em: https://www.sbse.org/retreats/sbse-retreat-2022

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **TR 15220-3-1**: Desempenho térmico de edificações Parte 3-1: Zoneamento bioclimático por desempenho – Lista de cidades brasileiras. Rio de Janeiro, 2024.

[14] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Projeteee –** Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. 2026. Disponível em: https://projeteee.mme.gov.br/. Acesso em: 9 abril 2026.

[15] MARSH, A. J. **Sun-path 3D.** 2014. Disponível em: https://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html. Acesso em: 8 abril 2026.

[16] LAWRIE, L. K.; CRAWLEY, D. B. **Repository of Free Climate Data for Building Performance Simulation**. 2026. Disponível em: https://climate.onebuilding.org/. Acesso em: 8 abril 2026.

[17] BETTI, G.; TARTARINI, F.; NGUYEN, C.; SCHIAVON, S. **CBE Clima Tool:** a free and open-source web application for climate analysis tailored to sustainable building design. Build. Simul. 2023. Disponível em: https://clima.cbe.berkeley.edu. Acesso em: 8 abril 2026.