XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Calibração de um modelo de simulação termoenergética de residência geminada localizada no semiárido brasileiro

Calibración de un modelo de simulación termoenergética de una vivenda adosada ubicada en el semiárido brasileño

Calibration of a thermoenergetic simulation model of a terraced house located in the Brazilian semi-arid

Área temática: Desempenho térmico do ambiente construído

Gouveia, Gustavo

Mestre em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil, gusthgr@gmail.com

Leder, Solange Maria

Pós-doutora em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil, solangeleder@yahoo.com.br

Resumo

Este estudo investigou a calibração de modelos de simulação computacional de desempenho termoenergético, buscando aprimorar a precisão dos resultados das simulações de edificações existentes. A pesquisa foi desenvolvida a partir do monitoramento do clima interno de uma edificação existente, sendo desenvolvido um modelo virtual representativo da residência. A calibração foi realizada a partir da análise dos índices NMBE, CVRSME e coeficiente de determinação (R^2), sendo ajustados os parâmetros de entrada dos componentes de maior influência no desempenho térmico do modelo. Os resultados indicaram uma redução considerável nos desvios entre as temperaturas observadas no modelo calibrado e as temperaturas registradas *in loco*, em comparação ao modelo não-calibrado, resultando em um NMBE próximo a zero e um R^2 superior a 0,80. O estudo conclui que o modelo calibrado pode apresentar resultados próximos aos da edificação real, porém, a observação de desvios em alguns períodos indica que o modelo necessita de refinamentos adicionais.

Palavras-chave: Desempenho térmico de edificações. Simulação computacional. Calibração de modelos.

Resumen

Este estudio investigó la calibración de modelos de simulación computacional de rendimiento térmico, con el objetivo de mejorar la precisión de las simulaciones de edificaciones existentes. Se realizó un monitoreo climático de una vivienda y se desarrolló un modelo virtual representativo de la edificación. La calibración se llevó a cabo utilizando los índices NMBE, CVRSME y coeficiente de determinación (R^2), ajustando los parámetros de los componentes que más influyen en el rendimiento térmico. Los resultados mostraron una reducción significativa de los desvíos entre las temperaturas observadas en el modelo calibrado y las registradas in situ, en comparación con el modelo no calibrado, resultando en un NMBE cercano a cero y un R^2 superior a 0,80. El estudio concluye que el modelo calibrado puede presentar resultados cercanos a los de la edificación real, sin embargo, la observación de desvíos en algunos períodos indica que el modelo necesita de refinamientos adicionales.

Palabras clave: Desempeño térmico de edificaciones. Simulación computacional. Calibración de modelos.

Abstract

This study investigated the calibration of thermal performance computer simulation models, aiming to improve the accuracy of simulations for existing buildings. Climate monitoring of a residence was conducted, and a representative virtual model of the building was developed. Calibration was carried out using the NMBE, CVRSME indices, and the coefficient of determination (R^2), with adjustments to the parameters of components that most influence thermal performance. The results showed a significant reduction in deviations between the temperatures observed in the calibrated model and those recorded on-site, in comparison with the non-calibrated model, with a NMBE close to zero and R^2 greater than 0.80. The study found that the calibrated model might present results approximated to the real building, but deviations were still observed during certain periods, suggesting that further refinements to the model are needed.

Keywords: Building thermal performance. Computer simulation. Models calibration.

1. Introdução

A simulação computacional permite avaliar o desempenho termoenergético de edificações, contribuindo para a redução da sua demanda energética (Fabrizio; Monetti, 2015). Embora seja um método amplamente utilizado, a simulação computacional pode apresentar uma série de limitações, pois, em muitos casos, não é possível representar virtualmente os complexos detalhes construtivos, sistemas e rotinas de operação de uma edificação (Westphal, 2007).

A calibração de modelos visa aumentar a confiabilidade dos resultados das simulações com base em dados reais da edificação e do clima externo obtidos por monitoramento. O modelo calibrado deve apresentar resultados próximos aos da edificação existente, minimizando os erros (Bertagnolio; Lemort; Andre, 2010). No processo, os parâmetros de entrada de maior sensibilidade são sucessivamente ajustados, sendo executada uma simulação nova a cada etapa, até a obtenção de um modelo satisfatoriamente calibrado (Figura 01) (Westphal, 2007).

Figura 1: Fluxograma do processo de calibração do modelo.



Fonte: Autor.

O incremento na precisão dos resultados após a calibração foi demonstrado por diversos estudos. Barbosa e Ghisi (2017) realizaram a calibração de um modelo de edificação residencial através de um monitoramento que coletou dados de temperatura dos dois dormitórios da residência durante 40 dias. Foram ajustados cinco parâmetros de entrada, sendo a geometria da cobertura, a adição do entorno, a absortância das superfícies, a resistência térmica dos materiais e a infiltração de ar, sendo o maior impacto observado ao ser alteradas a resistência e absortância dos materiais. O estudo conclui que o modelo calibrado apresentou uma boa correlação entre os dados monitorados e simulados.

A utilização de índices é fundamental para identificar a proximidade entre os dados medidos e simulados no processo de calibração (Bertagnolio; Lemort; Andre, 2010). O *Normalized Mean Bias Error* (NMBE) corresponde à média normalizada dos erros em um espaço amostral, e é um bom indicador do comportamento geral dos dados simulados (Ruiz; Bandera, 2017). O

Coefficient of Variation of Root-Mean Square Error (CVRMSE) mede a variabilidade dos erros entre os dados monitorados e simulados, funcionando também como uma medida do ajuste do modelo. Esse índice evidencia o nível de incerteza acerca dos resultados do modelo virtual, destacando o erro estatístico e a quantidade de resíduos (Fabrizio; Monetti, 2015). Também é possível avaliar a aproximação entre os dados monitorados e simulados através da análise do coeficiente de determinação (R^2), que indica o quanto os valores simulados estão próximos à linha de regressão dos valores medidos (Ruiz; Bandera, 2017).

É possível identificar a influência de cada componente construtivo no desempenho térmico da edificação através de uma análise do balanço térmico das superfícies internas do modelo, permitindo estabelecer prioridades em processos como o da calibração de modelos. Esse método possibilita examinar de que forma os fluxos de calor se comportam nas superfícies internas dos ambientes, considerando as trocas através dos mecanismos de condução, convecção e radiação, além da influência das fontes de calor internas (Eli; Melo; Lamberts, 2024).

Diante do exposto, o presente artigo apresenta o processo de construção e calibração do modelo virtual de simulação de desempenho termoenergético de uma residência existente, localizada em Juazeiro do Norte, Ceará. A edificação passou por levantamento arquitetônico e teve as suas condições climáticas internas monitoradas durante doze dias, sendo realizada também a coleta de dados sobre o clima externo no período, permitindo dessa forma a execução da calibração do modelo.

2. Metodologia

Caracterização e monitoramento do objeto de estudo

A residência analisada no presente estudo está localizada no município de Juazeiro do Norte, Ceará. O lote, de 4,90 metros de largura e 16,30 metros de comprimento, é ocupado até os seus limites, não existindo recuos entre a edificação e as vizinhas. A fachada frontal é pintada em cor cinza claro, com esquadrias externas em alumínio de cor cinza claro (Figura 02). Em seu interior, a residência possui um único dormitório, situado entre a sala da entrada e a sala de jantar e cozinha, com um quintal localizado na parte posterior do lote. Com exceção para o banheiro, a residência não possui portas internas, o que facilita a circulação do ar nos ambientes internos (Figura 03). Todos os cômodos possuem forro de gesso, não ocorrendo ventilação por efeito chaminé através da coberta. O contato entre o interior e o exterior da

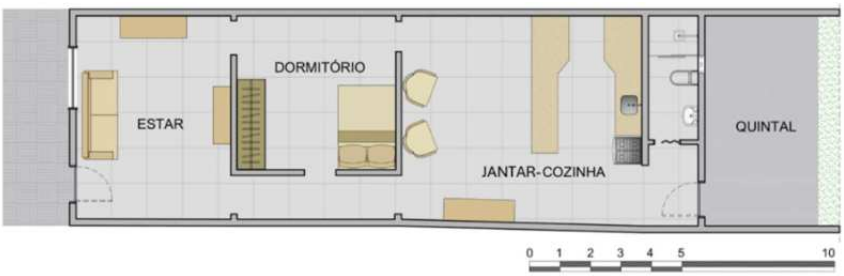
residência ocorre apenas através pelas aberturas nas fachadas frontal e posterior, sendo a última voltada para o quintal, sem outras aberturas adicionais (Gouveia; Leder, 2022).

Figura 2: Fachada frontal da residência em estudo.



Fonte: Autor.

Figura 3: Planta-baixa da residência em estudo.



Fonte: Autor.

O monitoramento de dados climáticos ocorreu no dormitório, sendo realizado através da instalação de uma Estação Microclimática Sensu, desenvolvida pelo Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas da Universidade Federal de Santa Catarina. O equipamento, posicionado no centro do dormitório, registrou a temperatura de bulbo seco (°C), temperatura de globo (°C), umidade relativa (%) e velocidade do ar (m/s) do ambiente selecionado entre os dias 26/01/2022, às 13:00, até o dia 07/02/2022, às 18:00, totalizando 12 dias completos de medições. A residência permaneceu desocupada durante o período de realização das medições, com a exceção de visitas periódicas para verificar o estado de funcionamento do aparelho (Figura 04). Os dados do clima local durante o período de monitoramento foram obtidos no website da Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica (Redemet), que disponibiliza valores de temperatura, umidade, direção e velocidade dos ventos coletados a partir de sensores localizados no Aeroporto Regional de Juazeiro do Norte, a uma distância de 3,50km da residência em estudo.

Figura 4: Registros do monitoramento de dados climáticos internos da residência em estudo.



Fonte: Autor.

Construção do modelo de simulação computacional

O modelo foi desenvolvido e simulado utilizando o software EnergyPlus (versão 2.14c), sendo atribuídas zonas térmicas aos ambientes internos da residência: sala de estar, dormitório, corredor, sala de jantar/cozinha e banheiro, além da zona térmica referente ao ático. O objeto de estudo é uma edificação geminada, portanto, foram consideradas também as edificações vizinhas e as trocas de calor entre a edificação principal e as mesmas. No entanto, não foi possível realizar o levantamento arquitetônico das edificações vizinhas, sendo cada residência representada no modelo como uma única zona térmica. As paredes da edificação são construídas em tijolo e revestidas com argamassa, e a coberta é de duas águas, com uso de telha cerâmica colonial e presença de forro de gesso nos ambientes internos. Não foram consideradas cargas térmicas internas ou rotinas de uso e ocupação no modelo, pois durante o período de monitoramento a residência esteve desocupada e com as esquadrias externas fechadas (Tabela 01). As propriedades termofísicas dos materiais da envoltória foram obtidas em consultas à literatura, com base nos materiais construtivos observados em visitas realizadas à residência (Tabela 02).

Tabela 1: Rotina de ocupação inserida no modelo.

Horário	Ocupação	
	Sala (%)	Dormitório (%)
00:00 – 23:59	0	0

Fonte: Autor.

Tabela 2: Propriedades termofísicas dos materiais da envoltória.

Material	Espessura	Absortância / Emissividade	Condutividade (W/mK)	Densidade (kg/m³)	Calor específico (J/KgK)
Telha cerâmica	0,01	0,75 / 0,85	0,90	1400	920
Forro de gesso	0,03	0,20 / 0,90	0,35	800	840
Reboco cinza	0,025	0,40 / 0,85	1,15	2000	1000
Reboco amarelo	0,025	0,30 / 0,85	1,15	2000	1000
Tijolo maciço	0,09	0,70 / 0,85	1,00	1600	920
Laje de concreto (piso)	0,10	0,70 / 0,90	1,75	2200	1000
Piso cerâmico	0,0075	0,35 / 0,85	1,15	1800	920
Esquadrias de alumínio	0,03	0,20 / 0,90	230	2700	880

Fonte: Autor, com base em Weber *et al.* (2017) e NBR 15.220 (ABNT, 2005).

Balanço térmico e calibração do modelo

Como critérios estatísticos para avaliação do nível de calibração do modelo, foram escolhidos os índices NMBE, CVRSME e o coeficiente de determinação (R^2). Nesse estudo, o modelo foi considerado calibrado ao serem atendidos os requisitos mínimos estabelecidos pela norma ASHRAE Guideline 14:2002 (ASHRAE, 2002) para os índices selecionados (Tabela 02).

Inicialmente, realizou-se uma análise do balanço térmico do modelo não-calibrado, sendo solicitados ao programa dados de saída referentes às trocas de calor que ocorreram por condução, radiação e convecção em todas as superfícies internas dos ambientes, o que permitiu identificar os componentes de maior influência no desempenho da edificação e o tipo de troca de calor predominante em cada superfície. Observou-se na análise que as trocas de calor ocorreram principalmente por radiação e condução, havendo poucas trocas de calor através do ar. Por esse motivo, decidiu-se realizar a calibração utilizando a temperatura radiante média (TRM) (°C) como variável de saída, sendo comparados os valores de TRM monitorados e os resultados das simulações.

A análise de balanço térmico permitiu também a elaboração de critérios para a calibração do modelo. No processo, a variação dos parâmetros de entrada considerou a margem de erro resultante das incertezas em relação aos valores reais das propriedades dos materiais da envoltória. Devido à presença de frestas nas esquadrias da fachada, os parâmetros referentes à infiltração também foram ajustados, sendo aplicados os coeficientes utilizados por Sanches, Moro e Giglio (2021) referentes a infiltração por frestas em portas metálicas. A simulação inicial do modelo base identificou temperaturas mais altas no modelo virtual em comparação

às temperaturas aferidas *in loco*, portanto, as variáveis foram ajustadas de modo que permitissem a redução da temperatura do dormitório do modelo, aproximando os dois conjuntos de dados. Por exemplo, foram reduzidas a emissividade e condutividade do forro, principal fonte de calor do ambiente, assim como se aumentou a condutividade do piso e do solo, principais dissipadores do calor interno do dormitório (Tabela 03).

Tabela 3: Modelos desenvolvidos no processo de calibração.

Etapa	Modelo	Componente ajustado	Variável ajustada	Variação
1.1	**01**	-	Simulação do Modelo Base	-
2.1	**02**	Telhado	Absortância	-0,10
2.2	**03**	Telhado	Calor específico	+50
3.1	**04**	Forro	Condutividade	-0,10
3.2	**05**	Forro	Emissividade	-0,05
4.1	**06**	Solo	Condutividade	+0,50
4.2	**07**	Solo	Calor específico	+300
5.1	**08**	Piso	Condutividade	+0,10
6.1	**09**	Paredes externas	Absortância	-0,10
6.2	**10**	Paredes externas	Calor específico	+100
7.1	**11**	Esquadrias externas	Absortância	-0,05
8.1	**12**	Esquadrias externas	Coeficiente de fluxo de ar / Expoente de fluxo de ar	0,0332 / 0,65

Fonte: Autor.

3. Resultados

Monitoramento de dados climáticos da residência e dados do clima externo

Durante o período de monitoramento, o dormitório registrou temperaturas médias entre 28 e 31°C, atingindo a temperatura máxima de 31,75°C no dia 26/01/22. Os dados do clima externo indicaram dias quentes, com temperatura média em torno de 26°C, e a temperatura máxima registrada de 33°C (Tabela 04). No geral, verificou-se que o ambiente interno apresentou temperaturas mais altas do que o exterior, com exceção para alguns dias em que ocorreram picos de calor no clima externo durante a tarde. Já a umidade relativa (%) no interior da residência permaneceu constante, com um valor médio em torno de 65%.

Tabela 4: Quadro-resumo dos dados climáticos internos e externos durante o período de monitoramento.

	TBS interna (°C)	TG interna (°C)	UR interna (%)	TBS externa (°C)	UR externa (%)
Máxima	31,88	32,22	71,87	33,00	100,00
Média	29,51	29,51	65,46	26,48	75,33

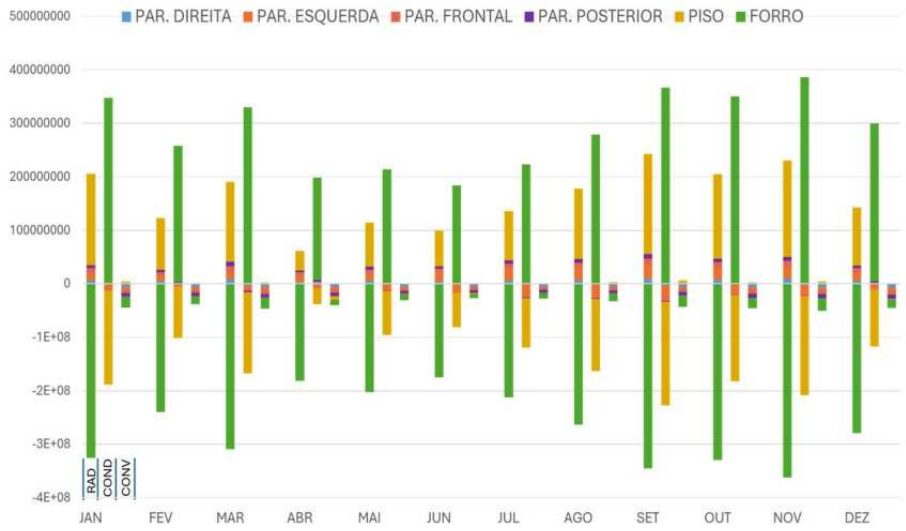
Mínima	27,22	27,07	48,45	21,00	46,00
Amplitude máxima	4,66	5,15	23,42	11,00	54,00
Desvio padrão	1,13	1,27	3,49	3,51	15,91

Fonte: Autor, REDEMET (2022).

Balanço térmico e calibração do modelo

O Gráfico 01 apresenta os resultados da análise de balanço térmico do dormitório, ambiente em que foi realizado o monitoramento de variáveis climáticas, sendo possível observar, da esquerda para a direita, valores mensais das trocas de calor por radiação, condução e convecção que ocorreram em cada superfície do ambiente durante todos os meses do ano. A análise indica que, no dormitório, as superfícies mais influentes no balanço térmico da edificação são o forro, que irá transmitir o calor absorvido pela coberta durante o dia para o interior dos ambientes por radiação, e o piso, que absorve a radiação emitida pelo forro e demais superfícies, dissipando a maior parte para o solo por condução. As paredes, por outro lado, possuem uma influência reduzida, porém ainda presente no balanço térmico.

Gráfico 01: Análise de balanço térmico do dormitório.



Fonte: Autor.

Os modelos foram simulados, sendo mantidos os ajustes que resultaram em índices mais próximos aos critérios estabelecidos. A Tabela 05 apresenta os resultados do processo de calibração do modelo, destacando a variação entre um modelo e outro para cada índice utilizado na análise. Observou-se que para os três índices, os ajustes que promoveram uma maior aproximação dos dados foram, em ordem respectiva, a redução da absortância do

telhado (Modelo 02), o ajuste nos coeficientes de infiltração por frestas das esquadrias externas (Modelo 12), e a redução da absortância das esquadrias externas (Modelo 11). Já as variações de menor impacto foram o aumento do calor específico do telhado (Modelo 03) e do solo (Modelo 07) e a redução da absortância das paredes externas (Modelo 09), sendo estes ajustes desconsiderados nas etapas seguintes. Os demais ajustes, embora tenham obtido resultados menos significativos, promoveram uma melhoria nos índices, sendo mantidos nas etapas seguintes.

Ao final do processo, o Modelo 12 foi considerado calibrado ao atender os critérios estabelecidos, apresentando uma aproximação considerável entre temperaturas obtidas na simulação e as temperaturas monitoradas *in loco* (Gráfico 02), assim como uma maior aproximação dos dados à reta de regressão em comparação ao modelo não calibrado (Gráficos 03 e 04). No entanto, é possível observar também que, em alguns períodos ainda ocorrem desvios significativos entre os conjuntos de dados, especialmente entre os dias 28 e 31 de janeiro, o que indica que o modelo ainda possui limitações que devem ser consideradas ao se avaliar a confiabilidade dos resultados.

Tabela 5: Resultados do processo de calibração do modelo.

Modelo	NMBE	Variação NMBE	CVRSME	Variação CVRSME	R^2	Variação R^2	Ajuste mantido?
01	5,50	-	8,59	-	0,730	-	-
02	3,63	-1,87	7,49	-1,10	0,744	+0,014	SIM
03	3,63	0	7,49	0	0,744	0	NÃO
04	3,18	-0,45	7,27	-0,23	0,748	+0,004	SIM
05	2,98	-0,20	7,17	-0,10	0,750	+0,002	SIM
06	2,50	-0,48	6,98	-0,19	0,754	+0,004	SIM
07	2,47	-0,03	6,99	+0,01	0,744	-0,010	NÃO
08	2,48	-0,01	6,97	-0,02	0,754	+0,010	SIM
09	2,48	0	6,97	-0,02	0,754	0	NÃO
10	2,45	-0,03	6,96	-0,01	0,758	+0,004	SIM
11	1,89	-0,56	6,79	-0,17	0,769	+0,011	SIM
12	**0,79**	**-1,10**	**6,59**	**-0,20**	**0,801**	**+0,032**	**SIM**

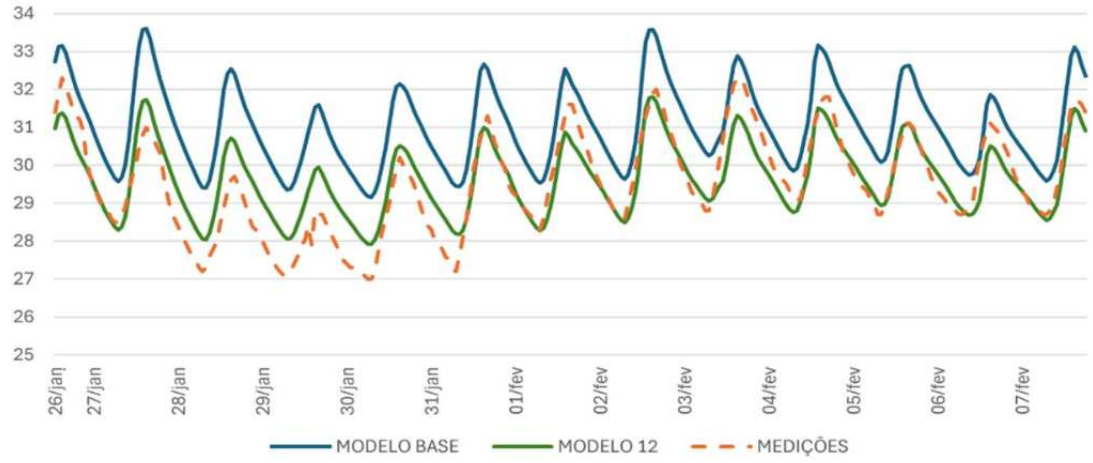
Fonte: Autor.

Tabela 6: Atendimento aos critérios de calibração do modelo.

Índice	Valor recomendado	Resultado Modelo 12	Critério atendido?
NMBE	Entre -10 e +10	0,79	SIM
CVRSME	0 a 30	6,59	SIM
R^2	Acima de 0,75	0,80	SIM

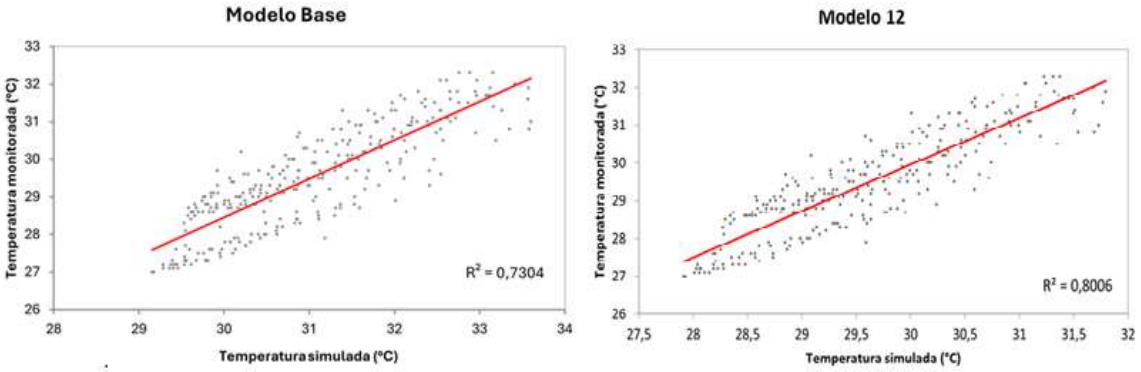
Fonte: Autor.

Gráfico 02: Comparação entre os valores horários de TRM dos modelos não-calibrado e calibrado com as temperaturas coletadas no monitoramento do dormitório.



Fonte: Autor.

Gráficos 03 e 04: Coeficiente de determinação entre a TRM monitorada e a TRM dos modelos Base e 12.



Fonte: Autor.

4. Conclusões

Este estudo investiga a calibração de modelos de simulação computacional para reduzir incertezas e melhorar a confiabilidade dos resultados. Com o procedimento proposto, obteve-se uma maior aproximação entre os dados medidos e simulados, ocorrendo uma redução considerável nos desvios entre os conjuntos de dados em comparação com o modelo não-calibrado. Verificou-se um NMBE próximo a 0 e um R^2 acima de 0,80, resultados considerados satisfatórios. Portanto, conclui-se que o modelo calibrado possibilita simulações cujos resultados possuem um maior nível de aproximação às condições da edificação existente.

Observou-se que o ajuste com maior influência na calibração foi a redução da absortância do telhado. Por se tratar de uma edificação geminada, a coberta é o elemento da envoltória mais exposto à radiação solar, atuando como a principal fonte de calor da edificação. Dessa forma, os resultados destacam a importância da coberta nas trocas de calor em edificações geminadas. O ajuste nos coeficientes de infiltração por frestas também resultou em uma alteração expressiva, reforçando o impacto da infiltração no balanço térmico do modelo. Embora a edificação tenha permanecido fechada durante o monitoramento, sendo as mesmas condições reproduzidas no modelo, os resultados apontam grande influência da temperatura do ar externo em edificações que possuem frestas em suas esquadrias externas. Logo, as limitações do modelo devem ser consideradas no que diz respeito à confiabilidade dos resultados, que ainda podem ser imprecisos em relação à edificação real.

Embora a calibração tenha reduzido os desvios, ainda foram observadas diferenças entre as temperaturas do modelo calibrado e as temperaturas registradas no monitoramento em determinados períodos, o que indica que o modelo necessita de refinamentos adicionais utilizando dados de entrada ainda mais precisos. Os desvios observados podem ser resultado do arquivo climático utilizado, que se baseou em dados do clima externo coletados no aeroporto da cidade, localizado em uma região próxima à zona rural e de baixa densidade habitacional, possuindo, portanto, um microclima diferente ao entorno imediato do objeto de estudo, de alta densidade construtiva.

Exemplos de aprimoramentos na calibração seriam a realização de monitoramento do clima interno da edificação em períodos mais longos, e a medição *in loco* de propriedades termofísicas da envoltória, o que possibilitaria a obtenção de valores representativos dos materiais construtivos utilizados. De igual importância é a obtenção de dados do clima externo do entorno urbano imediato ao da edificação a ser calibrada através de estação meteorológica portátil, levando em consideração que os dados utilizados, embora do mesmo município, podem ter sido coletados em contextos microclimáticos distintos aos do objeto de estudo.

Dessa forma, o presente estudo reforça a importância do uso da calibração para aprimorar a simulação do desempenho térmico de edificações já existentes, pois esse método contribui para o desenvolvimento de modelos mais confiáveis e eficazes. Futuras pesquisas devem buscar aprimorar o método, realizando períodos de monitoramento mais longos e considerando, na modelagem, particularidades dos materiais construtivos da envoltória, do entorno imediato da edificação e do clima local.

5. Referências bibliográficas

ASHRAE. **Guideline 14**: Measurement of Energy, Demand and Water Savings. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, 2002.

BARBOSA, K.; GHISI, E. **Proposta de calibração de um modelo computacional de uma tipologia de residência unifamiliar em Goiânia**. Anais do XIV ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído / X ELACAC - Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído: Habitat Humano, em busca de Conforto Ambiental, Eficiência Energética e Sustentabilidade no Século XXI. Balneário Camboriú: ANTAC, 2017.

BERTAGNOLIO, S.; LEMORT, V.; ANDRE, P. **Simulation assisted audit and Evidence based calibration methodology.** Université de Liège - Faculté des Sciences Appliquees. Liège, 2010.

ELI, L.; MELO, A.; LAMBERTS, R. **How to improve the thermal performance of buildings with one simulation run? The heat exchange index applied to hot climates**. Building and Environment, n. 258, jun. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111606>.

FABRIZIO, E.; MONETTI, V. **Methodologies and Advancements in the Calibration of Building Energy Models.** Energies, n. 8, p. 2548-2574, mar., 2015. <https://doi.org/10.3390/en8042548>.

GOUVEIA, G.; LEDER, S. **Conforto térmico no semiárido brasileiro:** um olhar para residências geminadas. Anais do XIX ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído: Ambiente Construído – Resiliente e Sustentável. Canela: ANTAC, 2022.

Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica – REDEMET. Disponível em: http://redemet.aer.mil.br. Acesso em 20 de maio de 2022.

RUIZ, G.; BANDERA, C. **Validation of Calibrated Energy Models:** Common Errors. Energies, n. 10, 1587, out., 2017. <https://doi.org/10.3390/en10101587>.

SANCHES, G.; MORO, G.; GIGLIO, T. **Calibração de um modelo computacional de HIS localizada na cidade de Londrina – PR**. Anais do XVI ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído / XII ELACAC - Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Palmas: ANTAC, 2021.

WESTPHAL, F. **Análise de incertezas e de sensibilidade aplicadas à simulação de desempenho energético de edificações comerciais**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.