XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Impacto da ausência de forros ou lajes no desempenho termoenergético de habitações de interesse social

Impact of the absence of ceilings or slabs on the thermoenergetic performance of social housing

Mateus Bavaresco
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | bavarescomateus@gmail.com
Artur Kamimura
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | arturkamimuras@gmail.com
Matheus Soares Geraldi
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | matheus.s.geraldi@gmail.com
Ana Paula Melo
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | a.p.melo@ufsc.br
Roberto Lamberts
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | roberto.lamberts@ufsc.br

Resumo

A cobertura é responsável pela maior parte das trocas térmicas em residências unifamiliares. O objetivo deste estudo é avaliar o desempenho térmico de habitações sem subsistemas de forro/laje por meio de simulações computacionais e comparar às tendências observadas em campo (pesquisa PPH 2018-2019). Dados de campo indicam que edificações sem forros apresentam menores consumos de eletricidade durante a operação, evidenciando a importância de recortes socioeconômicos em estudos sobre o desempenho termoenergético de habitações nacionais. Entretanto, a partir de simulações computacionais, concluiu-se que habitações sem subsistemas de forro/laje não atendem aos níveis mínimos de desempenho térmico em nenhuma das zonas bioclimáticas.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Habitações unifamiliares. Consumo de eletricidade. Classe econômica. Simulação computacional.

Como citar:
BAVARESCO, M.; KAMIMURA, A.; GERALDI, M.S. MELO, A.P.; LAMBERTS, R. Impacto da ausência de forros ou lajes no desempenho termoenergético de habitações de interesse social. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

Abstract

Roofs are responsible for most of the thermal exchange in single-family homes. The objective of this study is to evaluate the thermal performance of dwellings without ceiling or slab using computer simulations and compare to trends observed in the field (PPH survey 2018-2019). Field data indicate that these buildings use less electricity during operation. The results show the importance of considering socioeconomic aspects in technical studies about thermo-energy performance of Brazilian housing. It was concluded that dwellings without ceiling or slab do not meet the minimum levels of thermal performance in any climate zone.

Keywords: Thermal performance. Single-family homes. Electricity use. Economic class. Computer simulation.

INTRODUÇÃO

A NBR 15575:2021 [1], que trata do desempenho de edificações residenciais, estabelece critérios relacionados a diferentes requisitos para edificações habitacionais. Dentre os requisitos abordados, existem exigências específicas quanto ao desempenho térmico de habitações. De acordo com a NBR 155751:2021, o desempenho térmico das habitações depende de seus componentes (paredes e coberturas), das áreas envidraçadas e de ventilação, das cargas térmicas internas (pessoas, iluminação e equipamentos), do modo de operação das aberturas e do clima local.

Em relação aos componentes, a literatura científica ressalta o impacto do sistema de cobertura no desempenho de habitações, especialmente em países com clima quente. Os materiais utilizados no sistema de cobertura são cruciais para o desempenho termoenergético de habitações unifamiliares, uma vez que a maior parte dos ganhos térmicos por radiação solar ocorre pela cobertura [2]. Avaliações de balanço térmico em habitações unifamiliares por meio de simulação computacional indicam a viabilidade do uso de isolamento térmico na cobertura em diferentes climas nacionais (Santa Maria, São Paulo e Rio de Janeiro) [3]. Resultados similares quanto ao uso de isolamento térmico na cobertura também foram obtidos considerando climas nacionais mais amenos (Curitiba, São Paulo e Porto Alegre) [4]. Além da viabilidade considerando climas atuais, o uso de isolamento térmico na cobertura também é indicado quando se consideram projeções climáticas. Avaliações com base em simulações computacionais ressaltam a importância dessa estratégia a longo prazo considerando diferentes climas nacionais (São Paulo e Salvador) [5].

Do ponto de vista científico, espera-se que edificações unifamiliares com sistemas de cobertura mais completos minimizem os ganhos térmicos da edificação e contribuam com a redução do consumo de refrigeração durante sua operação. Entretanto, fatores subjacentes como a ausência de sistemas de climatização podem gerar variações no consumo energético de edificações que seguem tendências opostas a essa lógica. Neste sentido, famílias em situação de vulnerabilidade socioeconômica podem residir em habitações cujas características construtivas resultem em cargas térmicas potencialmente maiores e, mesmo assim, consumam pouca energia na habitação ao longo do ano. Os casos de habitações de interesse social (HIS) em Sinop-

MT foram avaliados [6]. Dentre os dados levantados, os autores mostraram que as unidades habitacionais destinadas às famílias com renda de até um salário mínimo não possuíam subsistema de forro na cobertura (que contavam apenas com telhas de barro e sistema de suporte estrutural).

Apesar de uma caracterização minuciosa quanto aos sistemas de cobertura utilizados nacionalmente ser complexa, a pesquisa Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial [7] fornece alguns indicadores neste sentido. A pesquisa, por sua vez, tem baseado estudos diretamente relacionados ao uso de eletricidade nas habitações nacionais sob diferentes perspectivas [8-10]. Desta forma, se mostra um instrumento confiável para avaliar as relações entre as características dos sistemas de cobertura e os usos de eletricidade nessas edificações.

Diante do exposto, algumas lacunas de pesquisa são evidenciadas: habitações com sistema de cobertura simplificado (sem forro ou laje, por exemplo) consomem mais energia que as demais? E ainda, essas edificações atendem os requisitos mínimos de desempenho térmico em alguma zona bioclimática brasileira? Portanto, o objetivo deste estudo é avaliar o desempenho térmico de habitações sem subsistemas de forro ou laje por meio de simulações computacionais e verificar as tendências observadas em campo por meio da pesquisa PPH 2018-2019. As análises visam identificar a importância de considerar recortes socioeconômicos em estudos técnicos sobre o potencial de desempenho termoenergético em habitações brasileiras.

MÉTODO

O método empregado consiste em duas etapas: avaliação da base de dados da pesquisa Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial [7] e simulação computacional de um modelo de referência de habitação unifamiliar.

AVALIAÇÃO DA PESQUISA POSSE E HÁBITOS DE USO DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS NA CLASSE RESIDENCIAL (PPH)

A base de dados da pesquisa PPH 2018-2019 [7] foi utilizada para a realização deste estudo. A base de dados apresenta informações sobre os moradores, suas habitações e equipamentos, além dos padrões de uso mais comuns para os diversos equipamentos. Por se tratar de uma base de dados extensa, este estudo enfocou em aspectos específicos do levantamento.

As análises iniciais e os testes de hipótese foram realizados em linguagem Python por meio do Google Colab. Algumas das perguntas realizadas na entrevista basearam as avaliações. O primeiro filtro realizado na base de dados foi a existência de valores de consumo de eletricidade e o cálculo do consumo médio mensal. O segundo filtro foi aplicado para manter apenas habitações unifamiliares na base. Além dos filtros, três tratamentos foram realizados. O primeiro foi a exclusão de outliers com base no critério de desvios padrão (adotando 3 desvios padrão como limite). O segundo foi a transformação dos valores de consumo para escala logarítmica visando a normalização desses dados para a posterior aplicação de teste t. O terceiro

tratamento aplicado foi a criação de uma nova variável para agrupar as classes sociais dos participantes em dois grupos ("Residencial" e "Residencial de baixa renda").

A base de dados da pesquisa PPH 2018-2019 [7] foi utilizada para avaliar todas as hipóteses apresentadas no Quadro 1. Os testes de hipótese foram realizados com o pacote scipy, considerando testes t com amostras independentes e identificando as hipóteses alternativas conforme estabelecido no Quadro 1.

Quadro 1: Testes de hipótese realizados.

Teste	Hipóteses	
	Hipótese nula (H_0)	Hipótese alternativa (H_1)
1	C.E.* no grupo residencial **=** C.E. no grupo residencial de baixa renda	C.E. no grupo residencial **>** C.E. no grupo residencial de baixa renda
2	C.E. por pessoa no grupo residencial **=** C.E. por pessoa no grupo residencial de baixa renda	C.E. por pessoa no grupo residencial **>** C.E. por pessoa no grupo residencial de baixa renda
3	Posse de ar-condicionado no grupo residencial **=** Posse de ar-condicionado no grupo residencial de baixa renda	Posse de ar-condicionado no grupo residencial **>** Posse de ar-condicionado no grupo residencial de baixa renda
4	Total de habitações sem forro/laje no grupo residencial **=** Total de habitações sem forro/laje no grupo residencial de baixa renda	Total de habitações sem forro/laje no grupo residencial **<** Total de habitações sem forro/laje no grupo residencial de baixa renda
5	C.E. nas habitações sem subsistema de forro ou laje **=** C.E. nas habitações com subsistema de forro ou laje	C.E. nas habitações sem subsistema de forro ou laje **<** C.E. nas habitações com subsistema de forro ou laje

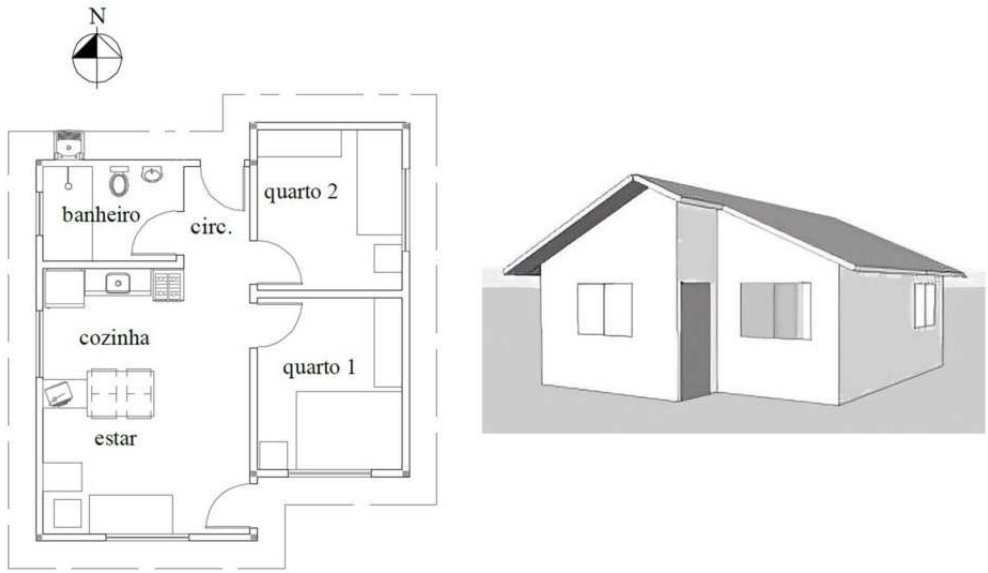
*C.E.: consumo de eletricidade. Fonte: os autores.

SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

A fim compreender eventuais impactos no desempenho térmico e potencial consumo energético de habitações brasileiras, neste trabalho foram simulados casos considerando a existência ou ausência de lajes/forros nessas edificações.

O modelo de edificação escolhido foi baseado na pesquisa de Montes (2016) [11], construído pela autora a partir da análise de diversas plantas baixas de HIS brasileiras. Na Figura 1 é ilustrada a planta baixa e uma vista da edificação. Composta por sala e cozinha conjugadas, dois dormitórios e um banheiro, totaliza-se 40 m² de área construída.

Figura 1: Ilustração da edificação analisada.



Fonte: Montes (2016) [11].

As análises tiveram como base a aplicação do método de simulação da NBR 15575:2021 para o cálculo dos indicadores de desempenho térmico. Para a avaliação de uma unidade habitacional (UH) pelo referido método, a edificação cujo desempenho busca-se analisar deve ser comparada a um modelo de referência. O modelo de referência tem fixados os valores condutividade térmica, calor específico, absortância à radiação solar, emissividade de onda longa e densidade dos materiais empregados nos pisos e nas paredes externas e internas, além de fixar as características das coberturas, aberturas e desconsiderar elementos de sombreamento. No quadro 2 são descritas as características construtivas das edificações de referência simuladas conforme descrição da NBR 15575:2021. Os modelos de comparação (Caso 01 e Caso 02), que desconsideram a utilização de forro ou laje, são descritos no final desta subseção.

Quadro 2: características construtivas das habitações de referência conforme a NBR 15575.

Elemento	Descrição	Absortância à radiação solar	Transmitância térmica (W/m². K)	Fator solar do vidro
Paredes	Paredes de concreto - 10 cm de espessura	0,58	4,4	
Cobertura: ZB 1 a ZB 7	Telha de fibrocimento, com 6 mm de espessura + Concreto maciço 10 cm	0,65	2,06	-
Cobertura: ZB 8	Fibrocimento + Concreto maciço 10 cm + isolante com resistência térmica de 0.67 (m².K)/W	0,5	0,8	-
Janelas	Molduras em alumínio e vidro incolor simples 3 mm	0,58 (molduras)	5,7	0,87
Piso	Concreto maciço 10 cm	0,5	3,74	-

Fonte: os autores.

O zoneamento bioclimático brasileiro, definido NBR 15220-3 (ABNT, 2005c), divide o território nacional em 8 zonas climáticas, agrupando as particularidades regionais e com recomendações de eficiência energética para cada uma. Na NBR 15575:2021 as exigências de requisitos para os níveis de desempenho térmico podem variar conforme a zona bioclimática (ZB) e a temperatura média do ar da localidade analisada. Também na NBR 15575:2021 há a exigência de isolamento adicional na cobertura para a zona bioclimática 8. Portanto, visando compreender a extensão dos impactos da ausência ou existência de forros/lajes nas habitações brasileiras, e também englobar as variáveis existentes na NBR 15575:2021, foram realizadas simulações computacionais considerando o clima de oito cidades brasileiras, sendo uma cada zona bioclimática. As seguintes cidades foram escolhidas, tendo como critérios a presença de mais de 200 mil habitantes e cujos arquivos climáticos do tipo INMET, exigidos para a simulação conforme a NBR 15575:2021 existissem:

- Curitiba-PR: ZB 1;
- Santa Maria-RS: ZB 2;
- Florianópolis-SC: ZB 3;
- Uberlândia-MG: ZB 4;
- Duque de Caxias-RJ: ZB 5;
- Palmas-TO: ZB 7;
- São Luís-MA: ZB 8.

O programa de simulação computacional utilizado para a simulação das edificações foi o EnergyPlus, em sua versão 9.5. Com ele é possível atender os

requisitos exigidos pela NBR 15575:2021, como calcular as variações de temperaturas operativas, cargas térmicas e ventilação natural.

Conforme a descrição obtida a partir dos dados da PPH, houve relatos de habitações onde o telhado pode ser visto de dentro das habitações. Assim, na modelagem geométrica da edificação, optou-se por conceber a cobertura com telhado e ático, podendo haver ou não um forro, a fim realizar uma comparação mais realista com as habitações onde não há forro.

A habitação foi inicialmente simulada com as caraterísticas geométricas (como aberturas e ausência de sombreamento) e construtivas conforme a referência de NBR 15575:2021, com paredes e lajes em concreto; essa variação foi denominada Referência. Em seguida realizou-se a simulação dessa habitação retirando-se apenas a laje de concreto, variação denominada de Caso 01. Finalmente, a partir de observações da PPH [7], e também conforme demonstrado por pesquisas anteriores [11], notou-se que muitas das habitações de baixa renda brasileiras são construídas com paredes de blocos cerâmicos. Essa variação, com paredes de blocos cerâmicos de 6 furos e reboco de 2 cm de cada lado das paredes, mantendo a ausência de laje e as demais características geométricas e construtivas, foi chamada Caso 02.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

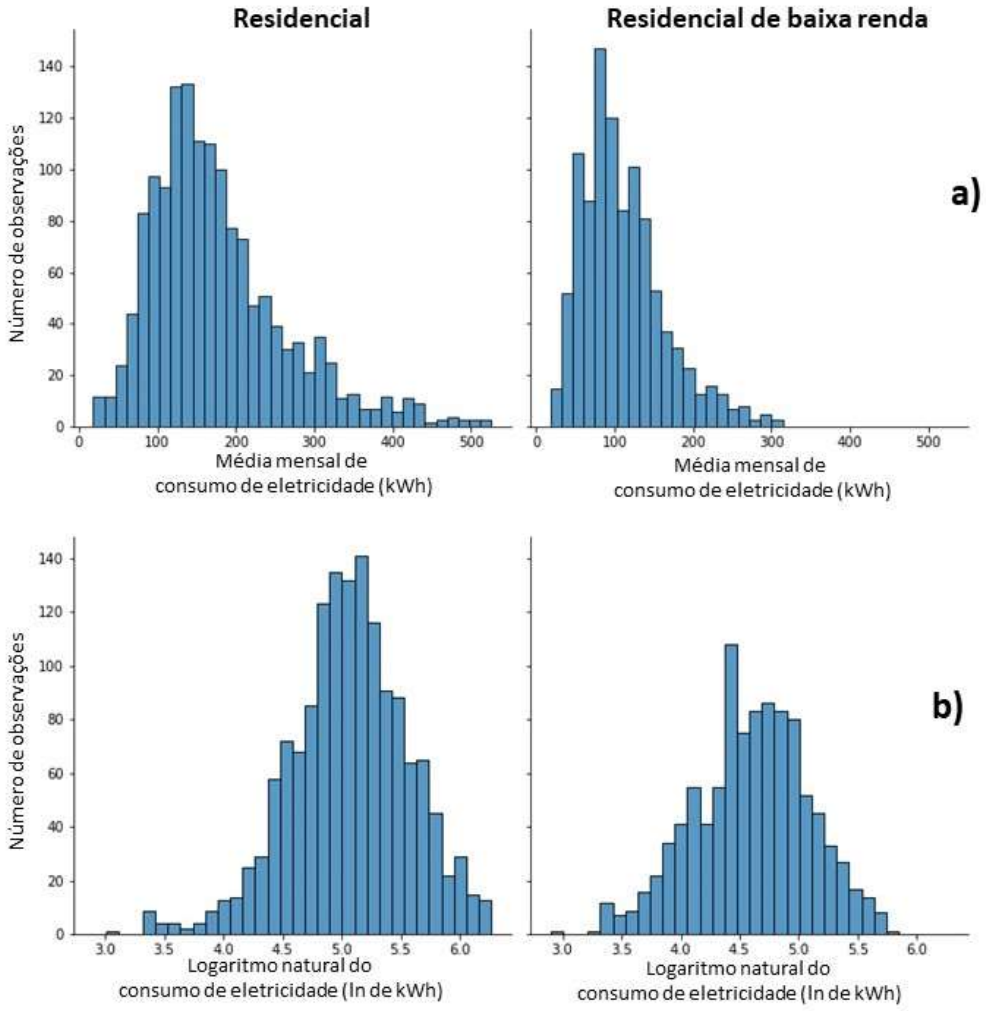
AVALIAÇÃO DA PESQUISA POSSE E HÁBITOS DE USO DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS NA CLASSE RESIDENCIAL (PPH)

O consumo de eletricidade nas habitações foi avaliado de acordo com a classe econômica dos participantes da pesquisa PPH. A Figura 2 apresenta duas subdivisões. A primeira (parte a) refere-se aos consumos médios mensais. Percebe-se que as habitações de baixa renda apresentam tendência de menor consumo elétrico em comparação ao outro grupo. A análise seguinte (parte b) foi baseada no logaritmo natural dos consumos mensais. Essa transformação foi realizada para normalizar a distribuição, uma vez que o valor esperado de uma distribuição normal coincide com a média dessa distribuição. Portanto, é possível calcular a média da amostra estudada e realizar a operação inversa do logaritmo natural para determinar o valor esperado dos consumos mensais nas habitações.

Os valores médios das distribuições normalizadas (5,08 para o grupo residencial e 4,60 para o grupo residencial de baixa renda) indicaram consumos de eletricidade esperados de 160,77 kWh/mês para o grupo residencial e 99,48 kWh/mês para o grupo residencial de baixa renda. Esses valores foram comparados a fim de determinar se as diferenças são estatisticamente significativas empregando-se teste t de amostras independentes (resultados: valor-t = 23,42; valor-p $\cong$ 0,00). Concluiu-se por rejeitar a hipótese nula, pois há evidência que o consumo elétrico esperado para o grupo residencial é maior que o consumo esperado para o grupo residencial de baixa renda. Esse resultado é coerente com estudos anteriores, que também indicaram

relações entre os consumos de eletricidade nas habitações e a classe econômica ou renda familiar [9].

Figura 2: Caracterização do consumo de eletricidade nas habitações conforme a classe econômica dos entrevistados e considerando: a) médias mensais do consumo, e b) logaritmo natural das médias mensais.



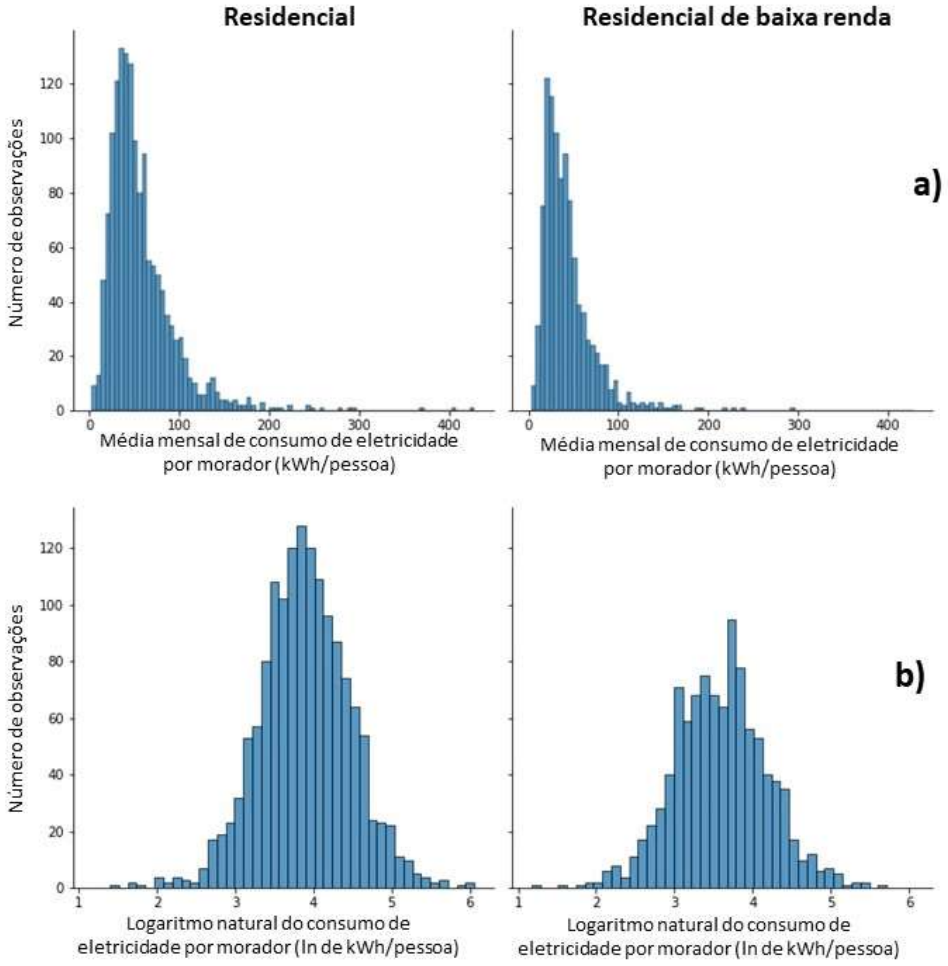
Fonte: os autores.

Na sequência, uma análise similar foi realizada para avaliar se os consumos médios por morador variam de acordo com a classe econômica das famílias. A Figura 3 apresenta duas subdivisões. A primeira (parte a) refere-se aos consumos médios mensais por morador nas habitações avaliadas. As distribuições apresentam distorções positivas significativas (caudas mais longas à direita da média). Portanto, a análise seguinte (parte b) foi baseada no logaritmo natural dos consumos mensais. De modo similar à análise anterior, o valor esperado para o consumo elétrico por morador foi calculado a partir da operação inversa do logaritmo natural.

Os valores médios das distribuições normalizadas (3,90 para o grupo residencial e 3,59 para o grupo residencial de baixa renda) indicaram consumos de eletricidade esperados de 49,40 kWh/mês/pessoa para o grupo residencial e 36,23 kwh/mês/pessoa para o grupo residencial de baixa renda. Aplicou-se um teste t para

determinar se as variações são estatisticamente significativas (resultados: valor-t = 12,62; valor-p ≅ 0,00). Concluiu-se por rejeitar a hipótese nula, pois há evidência que o consumo elétrico por pessoa esperado para o grupo residencial é maior que o consumo esperado para o grupo residencial de baixa renda.

Figura 3: Caracterização do consumo de eletricidade nas habitações conforme a classe econômica dos entrevistados e considerando: a) médias mensais do consumo por morador, e b) logaritmo natural das médias mensais de consumo por morador.



Fonte: os autores.

Uma vez que tanto o consumo total quanto o consumo por pessoa são menores no grupo residencial de baixa renda, é importante entender se aspectos subjacentes influenciam essa tendência. A ausência de aparelhos de ar-condicionado, por exemplo, pode resultar em menores consumos elétricos mesmo em situações onde os moradores estão expostos a condições de qualidade ambiental interna insatisfatórias. Neste sentido, dois aspectos são apresentados na Figura 4: a presença de forro ou laje nas habitações (parte a) e a presença de aparelhos de ar-condicionado (parte b). Essa análise evidenciou que, no grupo de baixa renda, é mais provável que as habitações não possuam subsistemas de forro ou laje. Tendência oposta foi verificada para o outro grupo econômico. Independentemente da classe econômica, é mais provável que uma habitação nacional não tenha aparelho de ar condicionado do

que o contrário. Entretanto, esse fato é ainda mais evidente ao se considerar recortes de classe, pois a probabilidade de haver aparelhos de ar-condicionado nas habitações do grupo de baixa renda é próxima de zero.

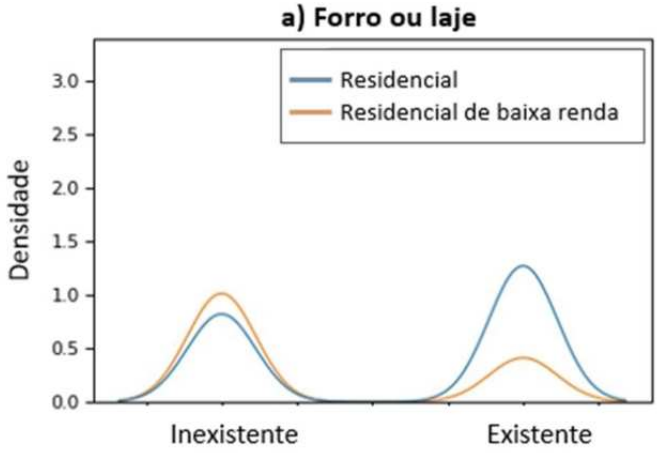
Os próximos testes de hipótese realizados visaram determinar se há diferença significativa quanto à existência desses elementos de acordo com os grupos de classe econômica. Os seguintes resultados foram obtidos:

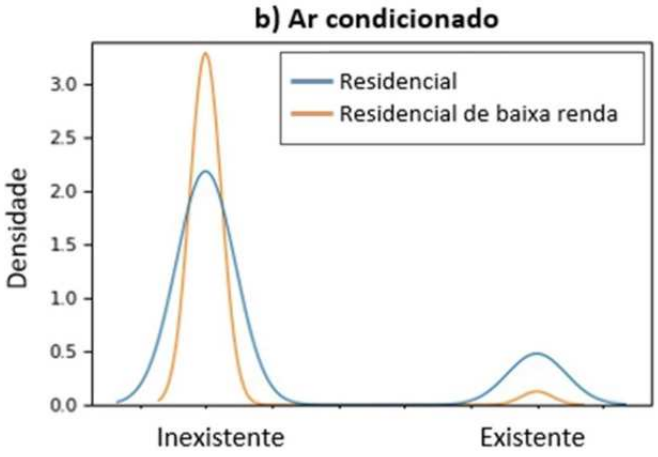
1) Quanto à existência de forro ou laje: valor-t = 16,23; valor-p ≅ 0,00;
2) Quanto à existência de aparelho de ar-condicionado: valor-t = 12,82; valor-p ≅ 0,00.

Desta forma, concluiu-se por rejeitar a hipótese nula em ambos os casos testados. Em outras palavras, comprovou-se maior probabilidade de não haver forro/laje e aparelhos de ar-condicionado nas habitações do grupo de baixa renda em comparação ao outro grupo.

Por fim, foram calculados os consumos esperados para habitações de acordo com a existência ou não de subsistemas de forro/laje. Os resultados indicaram consumo médio de 115,58 kWh/mês para edificações sem forro ou laje e 152,93 kWh/mês para as demais habitações. A variação também foi avaliada com a aplicação de teste t; os resultados indicaram valor-t = -12,78 e valor-p ≅ 0,00. Concluiu-se por rejeitar a hipótese nula, pois há evidência estatística que os consumos elétricos das habitações sem forros ou lajes são menores que os das demais habitações.

Figura 4: Estimativa da probabilidade de existir forro ou laje (a) e aparelhos de ar-condicionado (b) de acordo com as classes econômicas dos participantes.





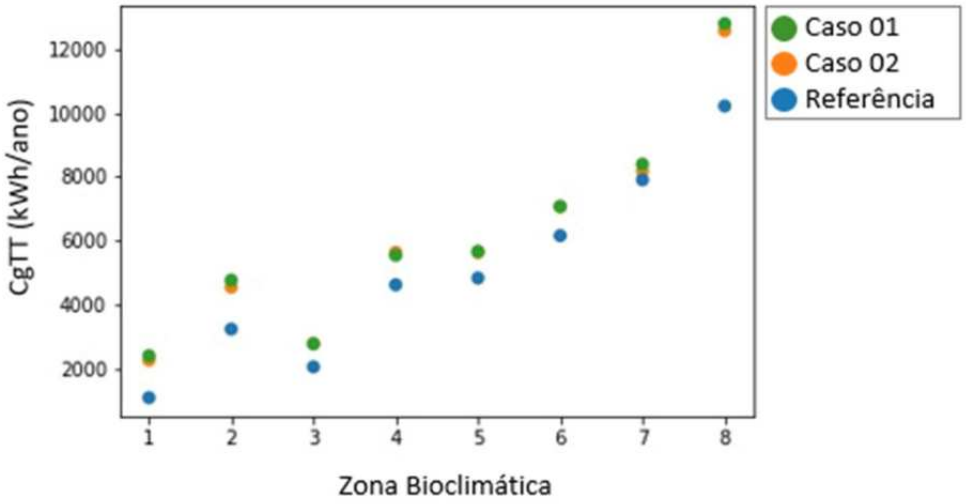
Fonte: os autores.

SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Os resultados da pesquisa PPH indicam menores consumos nas habitações do grupo de baixa renda em comparação às demais. Entretanto, fatores subjacentes como a inexistência de forro/laje e aparelhos de ar-condicionado precisam de maiores avaliações. A segunda parte deste estudo focou na aplicação dos critérios da NBR 15575:2021 (ABNT, 2021) considerando uma habitação representativa sem a existência de forro ou laje nas oito zonas bioclimáticas nacionais.

A Figura 5 apresenta a comparação da carga térmica total (kWh/ano) do modelo de referência da ABNT 15575:2021 (ABNT, 2021) a dois casos com a mesma geometria quando os subsistemas de forro ou laje não são considerados. Ressalta-se que o material do telhado é o mesmo nos três modelos, e a principal variação entre os casos 01 e 02 são as paredes externas: parede de concreto maciço e de bloco cerâmico, respectivamente. Os resultados indicaram a tendência de piores desempenhos térmicos nos casos sem forro ou laje para todas as ZBs testadas. Foram observados crescimentos entre 3,4% e 119,3% nas cargas térmicas totais das habitações sem forro/laje em comparação ao modelo de referência da norma. Indiretamente, espera-se que as edificações com cargas térmicas mais elevadas resultem em maiores consumos de eletricidade com condicionamento durante a fase de operação. Entretanto, os resultados da pesquisa PPH indicam uma tendência oposta.

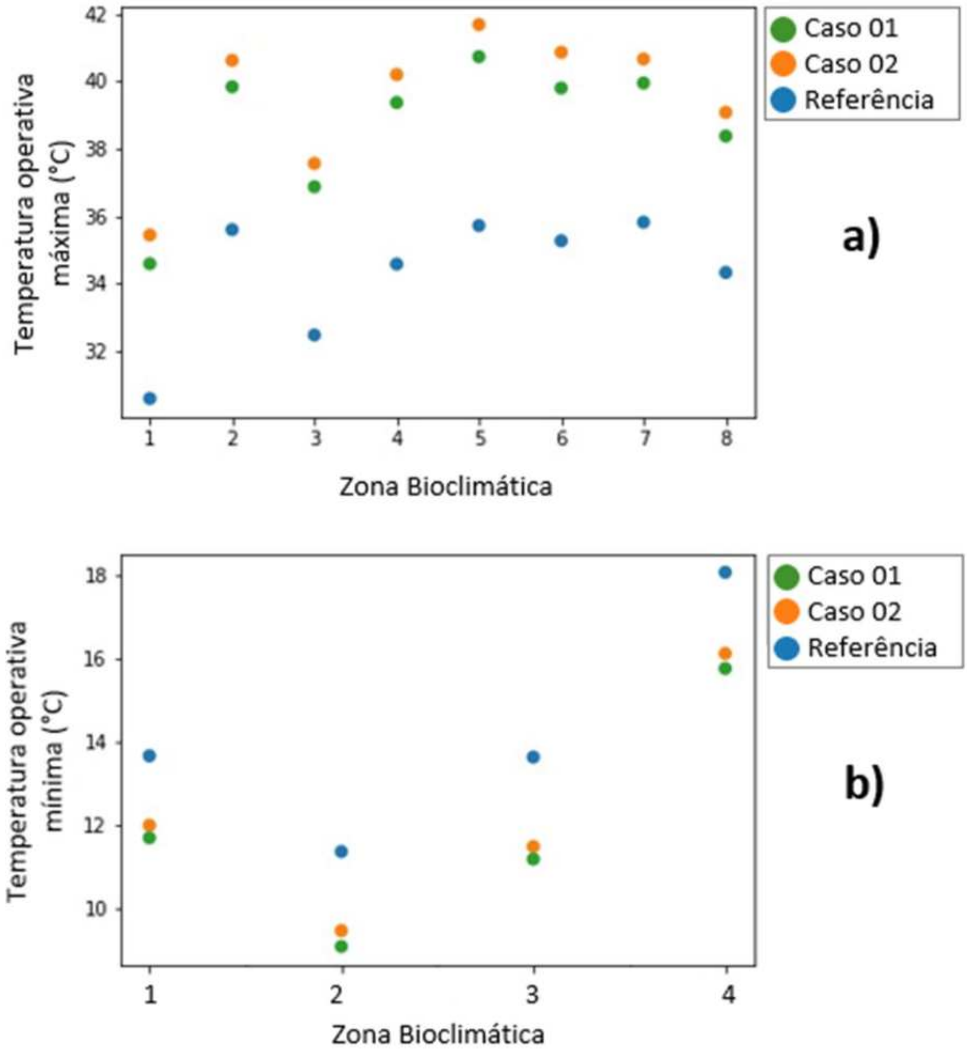
Figura 5: Carga térmica total (CgTT) calculada de acordo com os critérios da NBR 15575:2021.



Fonte: os autores.

Indicadores de temperaturas operativas máximas e mínimas estabelecidos pela NBR 15575:2021 (ABNT, 2021) também foram avaliados (Figura 6). Tanto as temperaturas operativas máximas quanto as temperaturas operativas mínimas ressaltaram o baixo desempenho das habitações sem subsistemas de forro ou laje. As temperaturas operativas máximas observadas para os casos 01 e 02 foram entre 3,99 °C e 5,95 °C mais elevadas que os valores do modelo de referência. Esses acréscimos expressivos indicam que moradores estão expostos a ambientes com elevado potencial de desconforto térmico ao longo do ano. De maneira similar, as temperaturas operativas mínimas observadas nas ZBs de 1 a 4 também ressaltam esse problema. As habitações sem os subsistemas de forro ou laje apresentaram temperaturas operativas mínimas inferiores aos valores de referência da NBR 15575:2021; com decréscimos entre 0,28 °C e 2,45 °C. Por mais que a NBR 15575 estabeleça níveis mínimos de desempenho que devem ser respeitados, os resultados deste estudo indicam que grupos da população em situação de vulnerabilidade socioeconômica podem não ter acesso a essas condições de habitabilidade. Esse problema deve ser avaliado com maior detalhamento, especialmente considerando o impacto esperado de mudanças climáticas e eventos extremos nos próximos anos [5]. Os resultados deste estudo ressaltam que famílias em situação de vulnerabilidade socioeconômica também estarão mais expostas aos riscos de eventos climáticos extremos.

Figura 6: Temperaturas operativas máximas (a) e mínimas (b) de acordo com os casos testados em simulação computacional.



Fonte: os autores.

CONCLUSÕES

A principal conclusão deste estudo está relacionada à importância de se considerar recortes de classe econômica ao se avaliar o potencial de desempenho termoenergético em habitações nacionais. Essas conclusões foram baseadas na combinação entre análises da pesquisa PPH [7] e avaliações de desempenho de habitações com simulação computacional.

Inicialmente, concluiu-se que as habitações do grupo de baixa renda apresentam consumos de eletricidade absolutos e por pessoa (99,48 kWh/mês e 36,23 kWh/mês/pessoa) significativamente menores que os esperados para os demais grupos econômicos (160,77 kWh/mês e 49,40 kWh/mês/pessoa). A inexistência de forro/laje e aparelhos de ar-condicionado também é significativamente mais frequente para o grupo populacional de baixa renda. Por fim, os consumos médios das habitações sem forro ou laje (115,58 kWh/mês) são significativamente menores que os consumos esperados para as habitações com forro ou laje (152,93 kWh/mês).

Entretanto, ao se avaliar as habitações com base na NBR 15575:2021, concluiu-se que as edificações sem forro/laje apresentam desempenho térmico inferior ao mínimo exigido pela norma em todas as ZBs. As cargas térmicas totais das habitações sem forro/laje representaram acréscimos entre 3,4% e 119,3% em relação ao modelo de referência. Além disso, os indicadores de temperatura operativa também ressaltaram o baixo desempenho dessas habitações. Em relação às temperaturas máximas, observaram-se acréscimos entre 3,99 °C e 5,95 °C nos modelos comparados à referência da norma. As temperaturas mínimas foram entre 0,28 °C e 2,45 °C inferiores aos valores obtidos para o modelo de referência.

Desta forma, o método aplicado contrasta as conclusões científicas quanto ao desempenho de habitações calculado com simulação computacional à realidade nacional, especialmente para famílias em situação de vulnerabilidade socioeconômica. Por um lado, espera-se que habitações com sistemas de cobertura simplificados (sem forro ou laje, por exemplo) tenham desempenhos térmicos insatisfatórios. Como consequência, espera-se maior consumo energético nessas habitações. Entretanto, os resultados de avaliações em campo indicaram que, mesmo em habitações cujas características construtivas indiquem menores níveis de desempenho térmico, os consumos de eletricidade são significativamente menores em comparação às demais habitações. Ressalta-se que, neste caso, recortes de classe são imprescindíveis para os estudos nessa área a fim de aprimorar o desenvolvimento de políticas públicas no futuro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível (CAPES) e à Eletrobrás pelo subsídio de bolsas aos pesquisadores que oportunizou a realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

[1] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575:2021. Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. ABNT: Rio de Janeiro, 2021.

[2] MICHELS, C.; GÜTHS, S.; MARINOSKI, D.; LAMBERTS, R. Thermal performance and thermal resistance of fibre cement roof tiles: Experimental study. **Energy and Buildings**, v. 231, 110569, 2021.

[3] ELI, L.G.; KRELLING, A.F.; OLINGER, M.S.; MELO, A.P.; LAMBERTS, R. Thermal performance of residential building with mixed-mode and passive cooling strategies: The Brazilian contexto. **Energy and Buildings**, v. 244, 111047, 2021.

[4] TUBELO, R.; RODRIGUES, L.; GILLOTT, M.; SOARES, J.C.G. Cost-effective envelope optimisation for social housing in Brazil's moderate climates zones. **Building and Environment**, v. 133, p. 213-227, 2018.

[5] TRIANA, M.A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Should we consider climate change for Brazilian social housing? Assessment of energy efficiency adaptation measures. **Energy and Buildings**, v. 157, p. 1379-1392, 2018.

[6] MARAFON, C.; LACO, M.; SANCHES, J.C.M.; LEÃO, M.; LEÃO, E.F.T.B.. Estratégias bioclimáticas em avaliação de desempenho térmico nas habitações de interesse social em Sinop/MT. **Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas – REGET/UFSM**, v. 18, p. 1008-1021, 2014.

[7] ELETROBRAS. Pesquisa de posse e hábitos de uso de equipamentos elétricos na classe residencial. Relatório Técnico, 2019. Eletrobras, Procel, 2019. Disponível em: https://eletrobras.com/pt/AreasdeAtuacao.

[8] ABRAHÃO, K.C.F.; SOUZA, R.V.G. What has driven the growth of Brazil´s residential electricity consumption during the last 19 years? An index decomposition analysis. **Ambiente Construído**, v. 21, p. 7-39, abr./jun. 2021.

[9] ABRAHÃO, K.C.F.; SOUZA, R.V.G. Estimativa da evolução do uso final de energia elétrica no setor residencial do Brasil por região geográfica. **Ambiente Construído**, v. 21, p. 383-408, abr./jun. 2021.

[10] TEIXEIRA, C.A.; MELO, A.P.; FOSSATI, M.; LAMBERTS, R. ABRAHÃO, K.C.F.; SOUZA, R.V.G. Estimativa da evolução do uso final de energia elétrica no setor residencial do Brasil por região geográfica. **Ambiente Construído**, v. 21, p. 383-408, abr./jun. 2021. Ambiente Construído, v. 22, p. 383-408, abr./jun. 2022.

[11] MONTES, M. A. T. **Abordagem Integrada no Ciclo de Vida de Habitação de Interesse Social Considerando Mudanças Climáticas**. 2016. 473 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.