

Análise do desempenho termo-energético de dormitórios condicionados artificialmente: um estudo em quatro cidades brasileiras

Thermal performance of Artificially Conditioned Bedrooms. Study in four Brazilian cities context

Juliana Yuriko Chagas Cruz Alves, Mestre em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina

juliana.cruz@posgrad.ufsc.br

Saulo Güths, Prof. Dr. Eng., Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina

saulo@lmpt.ufsc.br

Deivis Luis Marinoski, Prof. Dr. Eng., Departamento de Design e Expressão Gráfica, Universidade Federal de Santa Catarina

deivis.marinoski@ufsc.br

Ana Kelly Marinoski Ribeiro, Prof. Dr. Eng., Departamento de Design e Expressão Gráfica, Universidade Federal de Santa Catarina

ana.k.marinoski@ufsc.br

Resumo

As edificações residenciais representam um impacto significativo no consumo anual de energia elétrica. O presente artigo discute o efeito da utilização de isolante térmico nas vedações de uma tipologia de edificação unifamiliar residencial de interesse social localizada nas zonas bioclimáticas 3 e 8 do Brasil. Por meio de simulação computacional no software EnergyPlus 8.1, foram comparadas estratégias do uso de isolamento térmico em uma habitação de interesse social em quatro cidades brasileiras (Florianópolis, São Paulo, Rio de Janeiro e Natal), definindo a melhor combinação de estratégias para reduzir o consumo de energia da edificação. O melhor desempenho da edificação foi observado quando a utilização de isolante térmico é feita apenas na parte interna das paredes da envoltória.

Palavras-chave: simulação computacional; desempenho térmico; isolante térmico

Abstract

Residential buildings represent a significant impact on the annual energy consumption. This paper aims to discuss the effect of the use of thermal insulation on building seals in a single-family residential typology building located in bioclimatic zones 3 and 8 in Brazil. The comparative study is built and simulated in computer using the software EnergyPlus 8.1, it compares in each city, evaluated strategies of the use of thermal insulation in the building seals in a standard social housing project in Brazilian cities (Florianópolis, São Paulo, Rio de Janeiro, and Natal), defining the best combination of strategies to reduce the building's energy consumption. The best building performance was observed when thermal insulation was used only on the interior part of the envelope walls.

Keywords: computer simulation; thermal performance; thermal insulation

1. Introdução

A arquitetura desempenha um papel fundamental na construção de espaços físicos e influencia tanto a paisagem urbana, quanto a melhoria da qualidade de vida dos usuários. Maiores níveis de eficiência energética podem ser alcançados por meio de estratégias de projeto e cooperação entre os profissionais do setor da construção civil. Nos últimos anos, o consumo de energia tem crescido de forma acelerada. Entre os fatores que contribuíram para esse aumento estão o crescimento da população mundial, avanço das condições econômicas de países em desenvolvimento e maior busca por melhorias no conforto ambiental. Lamberts, Dutra e Pereira [1] ressaltam que o consumo energético pode ser reduzido a partir da aplicação do conhecimento em eficiência energética e conforto ambiental nos projetos por engenheiros e arquitetos.

O Brasil é um país com uma matriz energética predominantemente limpa. Em 2023, 61,9% da oferta interna de energia elétrica no país provinha de fonte hidrelétrica [2]. Entretanto, esse cenário está mudando rapidamente. Segundo o Ministério de Minas e Energia [3], a estimativa em 2030 é que o consumo de energia elétrica no Brasil seja o dobro do consumo de 2023, indicando um crescente uso de fontes não renováveis.

A crise de abastecimento de energia em 2001 foi determinante para que o país adotasse uma nova postura em relação ao consumo de energia e criasse medidas que contribuíssem para a racionalização do seu uso. A Lei 10.295 [4] – “Lei da Eficiência Energética” - entre outros resultados, promoveu a regulamentação dos níveis mínimos de eficiência energética de edificações, a partir da publicação do documento: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RTQ-R [5]. O objetivo dos regulamentos é determinar os métodos de avaliação e classificação do nível de eficiência energética de edificações.

No Brasil, de acordo com o Balanço Energético Nacional [2], as edificações residenciais são responsáveis por 50,9% do consumo de energia elétrica no país, sendo que 26,6% correspondem ao setor residencial, enquanto 16,6% os edifícios comerciais e 7,6% os edifícios públicos. No setor residencial, observou-se um aumento significativo na posse de equipamentos de ar-condicionado, um aumento de 9,0% entre 2005 e 2017. Este aumento decorreu das vendas de equipamentos novos no período de 2010 a 2015 [6].

Tubelo et al. [7] realizaram simulações de desempenho energético para um modelo de habitação de interesse social em cidades da Região Sul e Sudeste do Brasil. O estudo demonstra a eficácia da aplicação de isolamento térmico e a redução da infiltração de ar, e ressalta os custos associados, que inviabilizam a aplicação das estratégias propostas. Mourão [8], realizou um estudo do desempenho para uso de ar-condicionado em uma habitação de interesse social na cidade do Rio de Janeiro através de simulação computacional. O trabalho destaca as melhores estratégias de baixo custo e de leve intervenção como pintura, sombreamento, espessura de vidro e instalação de veneziana nas janelas. Ozarisoy et al.[9] realizaram um estudo em clima quente e temperado, propondo estratégias para otimização do desempenho energético do edifício, tais como o uso de isolamento térmico nas vedações, alta inércia térmica, iluminação LED e vidro duplo nas aberturas. Esses estudos apresentam a influência e importância do clima e como as definições de projeto impactam no desempenho da edificação e o consumo de energia elétrica.

O objetivo deste trabalho é analisar o efeito do emprego de isolamento térmico no desempenho energético noturno de dormitórios condicionados artificialmente para cidades localizadas nas zonas bioclimáticas 3 e 8. Foram exploradas soluções de envoltória para a construção de edificações residenciais, visando uma maior eficiência dos componentes construtivos para criar um ambiente adequado em dormitórios quando condicionados artificialmente.

2. Procedimentos Metodológicos

Neste item estão descritos todos os procedimentos metodológicos e programas utilizados para avaliar o impacto da adoção de estratégias de projeto para a envoltória de uma unidade habitacional (UH) no consumo energético do sistema de condicionamento artificial de ar. As análises foram realizadas por meio de simulações computacionais paramétricas sobre um modelo base de UH conforme as etapas a seguir:

- Definição do objeto de estudo (modelo) de uma habitação unifamiliar e da zona térmica de referência para um dormitório;
- Definição das características construtivas mais representativas da envoltória na realidade da construção civil brasileira e das estratégias a serem implementadas;
- Realização de simulações com o programa EnergyPlus 8.1 [10] utilizando como base os dados de entrada do método de simulação computacional da avaliação da envoltória segundo o RTQ-R;
- Variação de parâmetros para melhoria do desempenho energético da edificação e análise do impacto sobre os resultados.

2.1 Definição do modelo

A tipologia de edificação (Figura 1) avaliada neste trabalho foi uma unidade unifamiliar de um projeto padrão de habitação de interesse social desenvolvido pela Caixa Econômica Federal [11]. A edificação possui um pavimento em contato direto com o solo e pé-direito de 2,60 m. O programa de necessidades é composto por uma cozinha, um banheiro e três ambientes de permanência prolongada: uma sala de estar e dois dormitórios. A orientação da abertura do dormitório analisado é para o oeste.

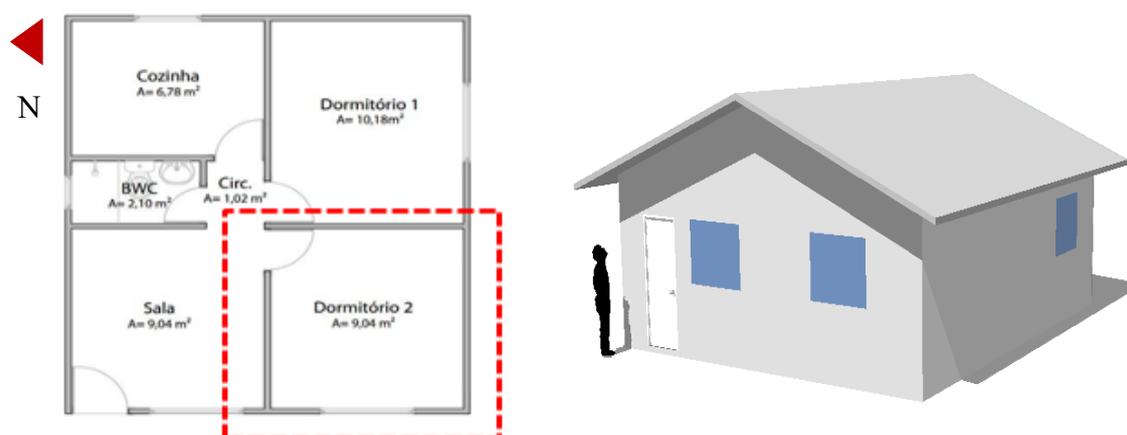


Figura 1: Planta baixa e maquete eletrônica da edificação unifamiliar. Fonte: adaptado [11].

2.2 Propriedades envoltória

As edificações residenciais brasileiras comumente utilizam como fechamento opaco: parede de bloco de alvenaria, parede de bloco de concreto e parede de concreto maciço. No presente estudo foi empregado paredes de bloco de concreto e cobertura com forro em PVC, estrutura de madeira e telha cerâmica. As configurações dos principais componentes construtivos e as propriedades térmicas dos materiais utilizados nas paredes encontram-se apresentadas na Tabela 1 e Tabela 2 a seguir.

Tabela 1: Propriedades dos componentes construtivos - Materiais das paredes e cobertura.

Componente construtivo	Material	Espessura [cm]	Transmitância térmica [W/m ² K]	Capacidade térmica [kJ/m ² K]
Parede de bloco de concreto	Reboco	2,50	2,69	272
	Bloco de concreto	19,00		
	Reboco	2,50		
Cobertura telha cerâmica com forro PVC	Forro PVC	1,00	1,71	21
	Câmara de ar	> 5,00		
	Telha cerâmica	.1,00		
	Câmara de ar	> 5,00		
	Telha cerâmica	.1,00		

Fonte: Autores.

Tabela 2: Propriedades do isolamento térmico.

Propriedade/Material	Poliestireno expandido
Condutividade [W/m.K]	0,04
Densidade [kg/m ³]	25
Calor específico [J/kg.K]	1420
Emitância	0,90
Absortância solar	0,30

Fonte: Autores.

2.3 Análise dos dados obtidos - Consumo energético

Para cada caso simulado foi solicitado um relatório contendo o consumo de energia anual do sistema de condicionamento de ar (kWh e/ou MWh), com o consumo total tanto a carga para resfriamento e aquecimento do ar. Os resultados de consumo para condicionamento de ar serviram de base para a análise de influência da variação de parâmetros no comportamento energético do modelo.

2.4 Análise dos Aspectos Sociais e Ambientais

Os impactos sociais e ambientais são aspectos importantes a serem considerados diante da adoção de estratégias de uso de isolamento térmico em projetos de habitações. A avaliação de impactos sociais consiste na avaliação de uma ação sobre o meio antrópico, ou seja, sobre as pessoas, sobre a população, sobre a comunidade do entorno. A preocupação central da avaliação de impactos sociais não é apenas a identificação ou mitigação de efeitos negativos, mas sim o comprometimento para com o desenvolvimento

e melhora da qualidade de vida. Os impactos ambientais estão relacionados, de modo geral, com a conservação dos recursos naturais e também a proteção do meio ambiente local.

3. Resultados

Os resultados obtidos caracterizaram a influência de cada parâmetro sobre a edificação: tipos de paredes; tipos de coberturas; tipos de janela; orientação; uso de isolamento na envoltória; e com ou sem ventilação natural diurna.

3.1 Desempenho energético – utilização de isolamento

Neste item são apresentados os resultados para cada cidade analisada do desempenho energético quando variando: (a) sem uso de isolamento nas paredes e coberturas, (b) uso de isolamento nas paredes, (c) uso de isolamento nas coberturas e (d) uso de isolamento em paredes e coberturas. Os parâmetros fixos e variáveis utilizados para simulação estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3: Parâmetros utilizados para simulação.

Parâmetros fixos		Parâmetros variáveis	
Tipo de Parede	Bloco de concreto	Uso de isolamento	Sem isolamento Com isolamento nas paredes Com isolamento na cobertura Com isolamento nas paredes e na cobertura
Tipo de cobertura	Cobertura telha cerâmica, estrutura de madeira e forro PVC	Localização	Florianópolis São Paulo Natal Rio de Janeiro
Tipo de janelas	Vidro simples sem persiana	Ventilação diurna	Sem ventilação diurna Com ventilação diurna
Orientação	Orientação 1 Janela dormitório voltada ao oeste		Obs.: Para análise do posicionamento do isolante térmico, adotou-se a edificação com ventilação diurna

Fonte: Autores.

Na cidade de Florianópolis (Figura 2a), verificou-se que a melhoria no desempenho energético ocorreu quando utilizou-se isolamento nas paredes, na parte interna do componente - redução de 4,4% (0,72 kWh/m².ano). No entanto, na cobertura, ao utilizar o isolamento na parte interna, observou-se um leve aumento no consumo. Não há diferença significativa ao inverter as posições do isolante térmico nos componentes.

Ao deixar as aberturas da unidade habitacional fechadas durante o dia, o desempenho energético foi prejudicado. A redução mais significativa do consumo de energia elétrica ocorreu quando houve ventilação diurna e não ocorreu isolamento – a redução foi de 13,6% (2,61 kWh/m².ano). Quando utilizou-se isolante nas paredes, a redução foi de 11,2%, com isolante na cobertura de 12,6% e quando utilizou isolamento nas paredes e na cobertura, a redução foi de 12,0%.

Em São Paulo (Figura 2b), verificou-se que ocorreu uma melhoria no desempenho energético quando utilizou-se isolamento nas paredes, na parte interna do componente, com uma redução de 4,6% (0,38 kWh/m².ano). Na cobertura, ao utilizar o isolamento na

parte interna observou-se um leve aumento no consumo. Não houve diferença significativa ao inverter as posições do isolante nos componentes.

Ao deixar as aberturas da unidade habitacional fechadas durante o dia, o desempenho energético foi prejudicado. A redução mais significativa do consumo de energia elétrica ocorreu quando houve ventilação diurna e isolamento nas paredes e cobertura – a redução foi de 23,3% (2,63 kWh/m².ano). Ao utilizar isolante térmico nas paredes, o aumento foi de 21,4%, e com isolante na cobertura, o aumento foi de 20,1%. Quando não adotou-se isolamento térmico nas paredes e cobertura, a redução foi de 18,1%.

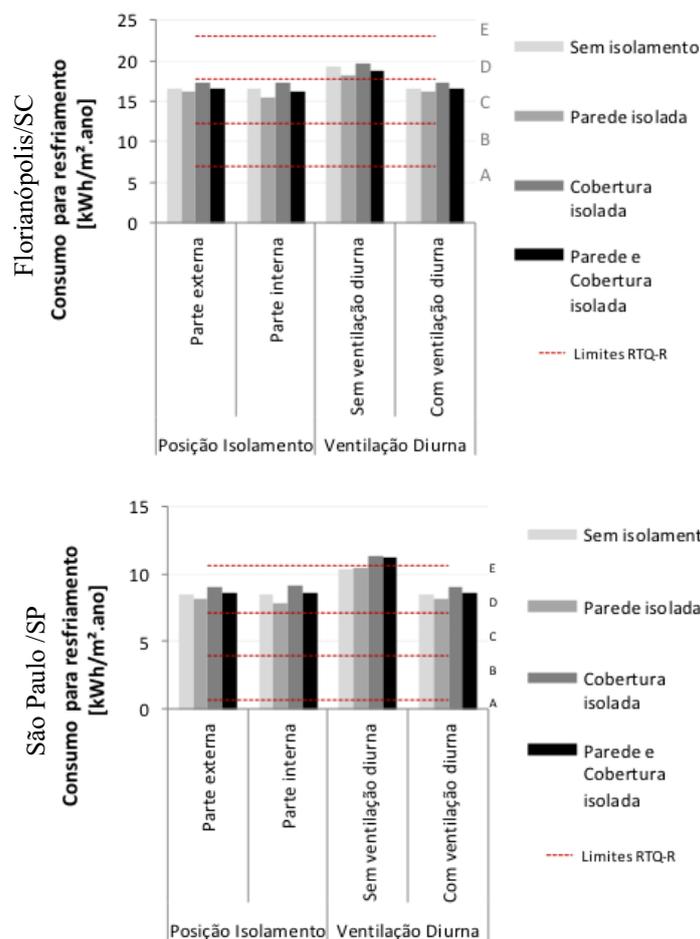


Figura 2: Consumo para resfriamento – (a) Florianópolis/SC e (b) São Paulo, zona bioclimática 3.
Fonte: Autores.

Na cidade de Natal (Figura 3a), verificou-se que a melhoria no desempenho energético ocorreu quando utilizou-se isolamento nas paredes, na parte interna do componente, obteve-se uma redução de 6,0% (0,38 kWh/m².ano), seguido de uma redução de 5,9% quando há isolamento nas paredes e cobertura, na parte interna do componente. Não houve diferença significativa ao inverter as posições do isolante térmico no componente da cobertura.

Ao deixar as aberturas da unidade habitacional fechadas durante o dia, o desempenho energético foi prejudicado. A redução do consumo de energia elétrica mais significativa ocorreu quando ocorreu ventilação diurna e isolamento na cobertura, com redução de 6,1% (4,69 kWh/m².ano). Quando utilizou-se isolamento térmico nas paredes, a redução foi de

1,7%. Com a utilização de isolamento térmico nas paredes e cobertura, a redução foi de 1,9% e quando não há isolamento, a redução foi de 3,4%.

No Rio de Janeiro (Figura 3b), verificou-se que há melhoria no desempenho energético quando foi utilizado isolamento térmico nas paredes, na parte interna do componente, uma redução de 6,0% (2,92 kWh/m².ano), seguido de uma redução de 5,4% quando adotou-se isolamento térmico nas paredes e cobertura, na parte interna dos componentes. Na cobertura, ao utilizar o isolamento na parte interna obteve-se um leve aumento no consumo.

Ao deixar as aberturas da unidade habitacional fechadas durante o dia, o desempenho energético também foi prejudicado. A redução do consumo de energia elétrica mais significativa ocorreu quando adotou-se ventilação diurna e isolamento térmico na cobertura, com redução de 9,5% (5,11 kWh/m².ano). Quando utilizou-se isolamento térmico nas paredes, a redução é de 6,1%; com isolamento térmico nas paredes e coberturas, a redução foi de 5,3%; e quando não foi usado isolamento, a redução foi de 7,6%.

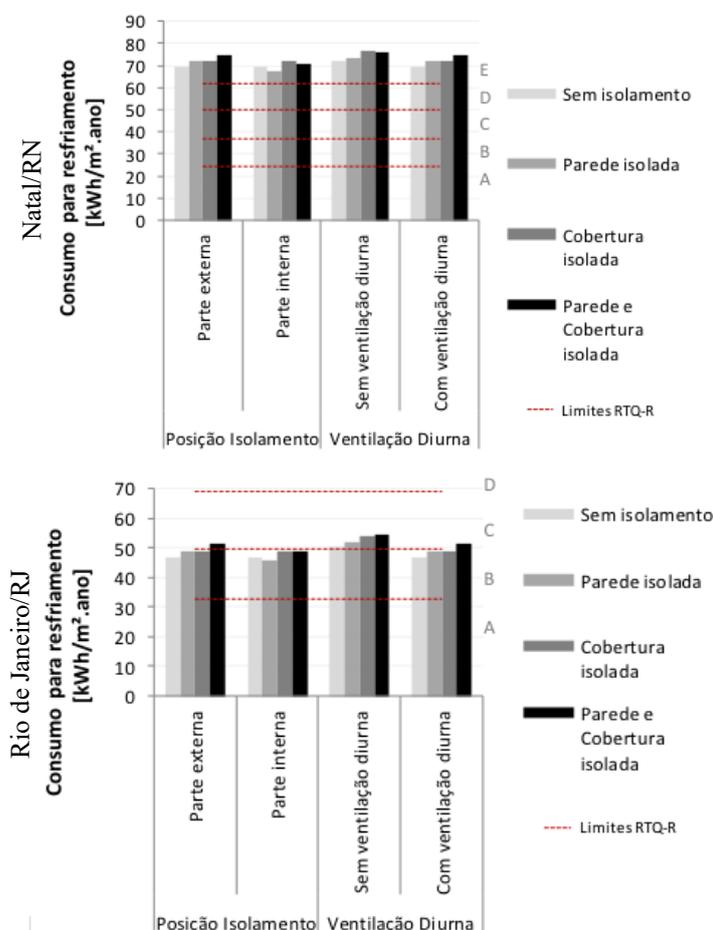


Figura 3: Consumo para resfriamento – (a) Natal/RN e (b) Rio de Janeiro/RJ, zona bioclimática 8.
Fonte: Autores.

A análise realizada nas quatro cidades demonstrou que, mesmo com a presença de isolamento térmico, o desempenho térmico das edificações foi comprometido na ausência de ventilação diurna. Com este resultado, ressalta-se a implementação de mecanismos que

favoreçam a ventilação diurna, tais como janelas basculantes ou venezianas ventiladas. A adoção dessas estratégias possibilita a circulação do ar mesmo quando os espaços residenciais não estão ocupados.

3.2 Aspectos Sociais e Ambientais

Um dos principais impactos sociais observados neste estudo foi com relação à melhoria da sensação de conforto térmico dos usuários (aspectos relativos à qualidade de vida e bem-estar dos moradores). Verificou-se a redução no consumo de energia elétrica da habitação avaliada e consequente redução na fatura (benefícios financeiros), que também se enquadra como um impacto social.

Em relação aos aspectos ambientais, destaca-se que maiores níveis de eficiência energética contribuem para redução das emissões de carbono associadas à geração de eletricidade e outros efeitos no meio ambiente. Também contribui para evitar crises energéticas, conhecidas popularmente como apagões, o que resulta também em muitas perdas financeiras. Além disso, a redução das emissões de carbono contribui para a mitigação das mudanças climáticas.

4. Considerações Finais

O artigo analisou o efeito do emprego de isolamento térmico no desempenho energético noturno em dormitórios condicionados artificialmente para cidades localizadas nas zonas bioclimáticas 3 e 8. Com base nos resultados, o melhor desempenho termo-energético, devido ao uso de isolante térmico, ocorreu quando a sua aplicação foi feita apenas nas paredes, em sua parte interna. Ao utilizar isolamento na cobertura no sistema construtivo proposto pelo método, houve um aumento no consumo por resfriamento, por não permitir a dissipação do calor interno adquirido ao longo da noite.

O estudo apresentou o impacto do uso de isolamento térmico nas paredes e cobertura no desempenho térmico da edificação. Através da simulação computacional de estratégias para a envoltória de edificações residenciais, foi possível configurar a melhor tipologia, onde ocorreu redução do ganho de calor nos ambientes e, consequentemente, maior conforto por parte dos usuários, além de redução do consumo de energia elétrica em dormitórios condicionados artificialmente. Outro fator são os indicadores de conforto ambiental com as estratégias de projeto deste estudo, como a utilização de isolamento térmico é relacionada com o nível de ruído externo, além de que, adotar uma ventilação diurna constante, a renovação de ar proporcionará qualidade de ar no interior da residência. É evidente que o conhecimento dos impactos sociais e ambientais da adoção de estratégias para desempenho energético em habitações precisa ser ampliado. São necessárias mais pesquisas incentivando o uso de isolamento térmico em habitações residenciais, investigando como os aspectos socioambientais podem influenciar a concepção, desenvolvimento e operação dos projetos.

Para trabalhos futuros, sugere-se estudos sobre outras estratégias de projeto como outro padrão de uso, com maior carga interna, maior número de ocupantes e de equipamentos. Também se sugere a análise do impacto com diferentes materiais de isolantes térmico, a aplicação desses estudos em outros climas e uma análise em longo prazo do desempenho das edificações após a implementação das medidas. Com base nesses estudos, cria-se referências para a fase de projeto de novas construções de habitações de interesse social.

Referências

- [1] LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, O. R. F. Eficiência Energética na Arquitetura. 3ª ed. São Paulo: PW, 2004. 188 p.
- [2] BEN. Balanço Energético Nacional 2023 – Ano base 2022: Relatório Síntese. Empresa de Pesquisa Energética – EPE Rio de Janeiro, 2023.
- [3] PNEf. Plano Nacional de Eficiência Energética. Disponível em: <http://www.orcamentofederal.gov.br/>. Acesso em: 18 ago. 2023.
- [4] BRASIL. Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. In: Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2001b.
- [5] BRASIL. Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. Portaria n.º 17, de 16 de janeiro de 2012. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Rio de Janeiro, 2012. Acesso em: 06 ago. 2013. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001960.pdf>.
- [6] EPE. Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial 2019. Disponível em: <https://q.elektrobras.com/pt/Paginas/PPH-2019.aspx>. Acesso em: ago. 2023.
- [7] 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.
- [8] MOURAO, F.; OLIVEIRA, R. D.; AZEVEDO, R. C. Influência dos fatores projetuais no consumo elétrico para ar condicionado: um estudo de caso em uma habitação popular em clima tropical úmido. *Engineering and Science* 2023, 12:2.
- [9] OZARISOY, Bertug; ALTAN, Hasim. Low-energy design strategies for retrofitting existing residential buildings in Cyprus. *Engineering Sustainability*, v. 172. Issue 5, p.241-255, 2019. <https://doi:10.1680/jensu.17.00061>
- [10] ENERGYPLUS, versão 8.1.0. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, 2018. Disponível em: <https://energyplus.net/>. Acesso em: 25 maio 2024.
- [11] CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Cadernos CAIXA Projeto padrão – casas populares| 42m². Vitória, 2007. Disponível em: <http://www1.caixa.gov.br/download/>.