XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

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

O impacto do uso de isolamento na cobertura de acordo com a NBR 15575

The impact of using insulation on roofs according to NBR 15575.

Larissa Pereira de Souza
LabEEE - UFSC | Florianópolis | Brasil | larissa.pereira@posgrad.ufsc.br
Vanessa Aparecida Caieiro da Costa
Saint-Gobain Research Brasil | Capivari | Brasil | vanessa.costa@saint-gobain.com
Ana Paula Melo
LabEEE - UFSC | Florianópolis | Brasil | a.p.melo@ufsc.br
Roberto Lamberts
LabEEE - UFSC | Florianópolis | Brasil | roberto.lamberts@ufsc.br

Resumo
O estudo avalia o uso do isolamento térmico na cobertura de uma edificação unifamiliar, em São Paulo, considerando 9 tipos de cobertura e 3 absortâncias. Com base na NBR 15575, o comparativo de desempenho térmico se dá pela carga térmica, percentual de horas dentro da faixa de temperatura (PHFT), temperatura operativa máxima e mínima utilizando simulação com o EnergyPlus. As melhores soluções foram baixas absortâncias e isolamento na cobertura. Porém, o isolamento demasiado não trouxe benefícios significativos. Ademais, telhas convencionais aliadas ao isolamento do forro podem ter desempenho térmico similar ao de telha sanduíche, e ainda, podem ter melhor custo-benefício.

Palavras-chave: Simulação de desempenho. NBR 15575. Cobertura isolada.

Abstract
The study evaluates roof thermal insulation use in a single-family building in São Paulo, considering 9 types of roofs and three absorptances. Based on NBR 15575, the thermal performance comparison examined the thermal load, percentage of hours within the temperature range (PHFT), and operative temperature maximum and minimum using simulation with EnergyPlus.Tthe best solutions were low absorptances and the use of insulation. However, too much insulation is not too beneficial. In addition, conventional tiles combined with the thermal insulation can have similar thermal performance to the insulated roof tile, and still, can have better cost-benefit.

Keywords: Building performance simulation. NBR 15575. Insulated roofs.

Como citar:
PEREIRA DE SOUZA, L.; COSTA, V. A. C.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. O impacto do uso de isolamento na cobertura de acordo com a NBR 15575. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

INTRODUÇÃO

Reduzir a emissão de poluentes e o consumo de energia a nível global são pontos cruciais para melhorar o cenário futuro de mudanças climáticas. Entretanto, as emissões de edifícios aumentaram em aproximadamente 2% no ano de 2017 a 2018. Além disso, houve um aumento de 19% no consumo de energia elétrica em edifícios de 2010 a 2018 [1].

A demanda de resfriamento cresceu mais de 33% neste mesmo período, sendo a responsável pelo aumento de consumo de energia elétrica de edifícios nos últimos anos [1]. A venda de equipamentos de condicionamento de ar tende a crescer ainda mais até 2030 [2], visto que em países como Estados Unidos e Austrália 90% das residências já possuem equipamentos de ar condicionado, enquanto o Brasil possui menos de 20%, e a Índia e a Indonésia menos de 10% [3].

Além disso, percebe-se um impacto das edificações residenciais no consumo energético mundial ao analisar os dados coletados a partir do ano de 2020. O distanciamento social proporcionou a troca na demanda de energia de boa parte do setor não-residencial ao setor residencial, tendo em vista o trabalho e estudo remoto, trazendo maior atividade às edificações residenciais [4]. No entanto, apenas 1% da demanda global de energia elétrica foi reduzida no ano de 2020, atentando para a restrição de uso de edificações comerciais e industriais [5].

Um relatório apresentado pela Agência Internacional de Energia sobre Eficiência Energética do ano de 2020 apontou que o período despendido em casa para trabalho aumentou aproximadamente 30% no ponto máximo do isolamento social [4].

Apesar da melhoria alcançada na eficiência dos equipamentos de condicionamento de ar, são necessárias medidas relacionadas à melhoria no desempenho da envoltória, a fim de acompanhar o crescimento populacional e reduzir significativamente o consumo [2]. Ao analisar o desempenho da envoltória de habitações de interesse social brasileiras em relação à regulamentação (não-obrigatória), percebem-se graus de desconforto com o uso de ventilação natural e necessidade de uso de condicionamento de ar para manter os níveis de conforto [6]. Em 2018, no Brasil, nota-se melhoria na eficiência energética relacionada ao estabelecimento de códigos obrigatórios de eficiência em edifícios e equipamentos, como refrigeradores, condicionadores de ar, lâmpadas e entre outros, aprovados pelo o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), e que possuem a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), divulgada pelo Inmetro [7]. Ainda assim, a projeção do consumo de resfriamento no país tende a aumentar de forma expressiva nos próximos anos, reforçando-se assim a necessidade de aprimorar os métodos de avaliação do desempenho dos edifícios [8].

É importante, portanto, compreender o emprego de materiais diferentes na envoltória das edificações. A depender do clima, o uso de isolamento em paredes e coberturas pode impactar na eficiência energética da edificação em alguns casos [9]. Além do mais, normativas internacionais geralmente servem de base para o desenvolvimento

e aplicação de medidas de eficiência energética a nível nacional. Porém, estas podem representar condições de referência não adequadas ao clima brasileiro [10, 11].

Tendo isso em vista, o objetivo deste estudo é avaliar o emprego do isolamento térmico na cobertura de edificações residenciais brasileiras com base no método de simulação da NBR 15575 [12]. Não somente testar a melhoria em desempenho obtida com o uso de isolamento, mas também compreender até que ponto deve-se isolar a fim de se obter melhores resultados de desempenho melhores, além de comparar com métodos construtivos mais comuns.

MÉTODO

Com o intuito de analisar os resultados de desempenho de composições diferentes de cobertura, considerando o uso do isolamento térmico, foi selecionada uma tipologia residencial unifamiliar para o estudo. Também foram fixados diversos parâmetros da envoltória, além de padrão de uso e equipamentos para que as coberturas pudessem ser comparadas igualmente.

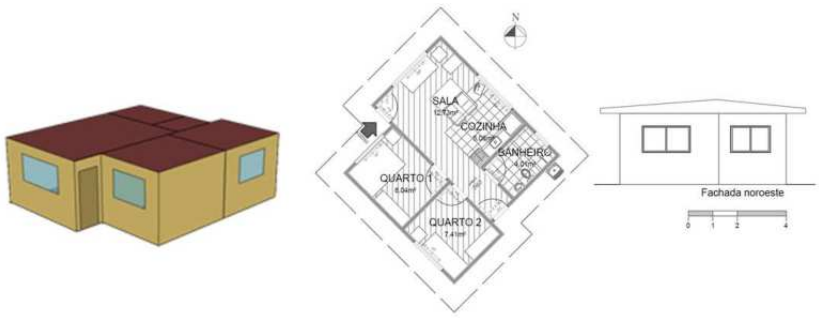
Utilizou-se o programa de simulação EnergyPlus (versão 9.0.1) para a avaliação de desempenho térmico, e a edificação foi modelada utilizando o Euclid [13] no SketchUp (versão Make) [14]. Além disso, foram considerados os resultados de carga térmica total (aquecimento e resfriamento) e de percentual de horas dentro de uma faixa de temperatura (PHFT) de cada caso para de compará-las. Ademais, avaliam-se as temperaturas operativas máximas (To,máx) e mínimas (To,mín). Estes indicadores têm base na norma de desempenho de edificações habitacionais, NBR 15575 [12].

A descrição do método utilizado neste estudo está dividida entre a apresentação da tipologia dos parâmetros considerados fixos, e posteriormente a apresentação dos parâmetros variados

TIPOLOGIA ESTUDADA E PARÂMETROS FIXOS NA SIMULAÇÃO

A edificação considerada neste estudo consiste em uma residência unifamiliar térrea, de dois dormitórios, com sala e cozinha conjugadas, foi selecionada com base no estudo de Triana, Lamberts e Sassi (2015) e é utilizada como arquivo exemplo de simulação da NBR 15575 [15]. Ela possui cerca de 45 m², está localizada na cidade de São Paulo, e está representada na Figura 1.

Figura 1: Representação 3D (à esquerda) em planta (ao centro) e da fachada noroeste (à direita) da tipologia adotada no estudo



Fonte: a autora.

Conforme apresentado na Figura 1, considerou-se a orientação solar com menor desempenho térmico para este estudo, sendo a janela da sala e do dormitório 1 orientadas à noroeste (-45°). Selecionou-se esta orientação a partir de resultados de carga térmica por meio de simulação da edificação na condição de referência, rotacionada a cada 45° em relação a norte.

Além disso, foram considerados os parâmetros da envoltória, excetuando a cobertura, de acordo com a condição de referência apresentada pela NBR 15575: paredes externas e internas em concreto de 10 cm, com absortância de 0,58; vidro comum simples, de fator solar 0,87 e transmitância térmica de 5,7 W/(m².K); a laje em contato com o solo é de concreto de espessura 10 cm; e a edificação não possui sombreamento (excluiu-se o beiral). Por fim, o padrão de ocupação e de uso de equipamentos e iluminação foi também considerado de acordo com a norma.

O arquivo climático de São Paulo utilizado é o TMYx de Congonhas de 2004-2018. Além disso, cada caso foi simulado de acordo com a NBR 15575 para estipular as horas em que se tem temperaturas operativas nas quais se utiliza de ventilação natural, e as horas em que a ventilação natural não atinge estas temperaturas e necessita-se de condicionamento de ar, calculando a carga térmica destes casos, totalizando duas simulações para cada caso.

PARÂMETROS VARIADOS NA SIMULAÇÃO

Foram consideradas 9 combinações de cobertura na pesquisa. Dentre estas, considerou-se a cobertura de referência de acordo com a NBR 15575: a telha de fibrocimento com laje de concreto. Além da referência foram escolhidos quatro tipos de telha (cerâmica portuguesa, fibrocimento com cimento reforçado com fios sintéticos CRFS, metálica simples e metálica sanduíche) e 2 tipos de elemento interno (forro de gesso com lã de vidro de 10 cm de espessura, e laje de concreto). As telhas foram selecionadas a fim de comparar tecnologias e materiais distintos e mais usuais do mercado. Já a seleção do forro de gesso com isolamento de lã de vidro se deu com o objetivo de comparar situações de baixa e alta transmitância (gesso e concreto, respectivamente). A Tabela 1 representa as combinações de componentes de cobertura.

Além das variações de composição de cobertura, cada uma das telhas também foi analisada com três absortâncias diferentes: 0,4; 0,65; e 0,8. A absortância de 0,4 representa as cores claras, mais próximas ao branco; a absortância de 0,65 é a referência conforme a NBR 15575, e está próxima da tonalidade da cor cerâmica; e a absortância de 0,8 representa cores mais escuras, sendo mais próxima ao tom cinza do concreto.

Tabela 1: Combinações de cobertura

Tipo de telha	Composição intermediária	Acabamento interno	Identificação	Transmitância térmica [W/(m².K)]
Fibrocimento comum	Ar	Laje de concreto	Referência	2,42
Cerâmica portuguesa	Ar + Lã de vidro	Forro de gesso	Cera_lã_gesso	0,36
Cerâmica portuguesa	Ar	Laje de concreto	Cera_conc	2,39
Fibrocimento CRFS	Ar + Lã de vidro	Forro de gesso	Crfs_lã_gesso	0,36
Fibrocimento CRFS	Ar	Laje de concreto	Crfs_conc	2,38
Metálica	Ar + Lã de vidro	Forro de gesso	Meta_lã_gesso	0,37
Metálica	Ar	Laje de concreto	Meta_conc	2,47
Sanduíche	Ar + Lã de vidro	Forro de gesso	Sand_lã_gesso	0,23
Sanduíche	Ar	Laje de concreto	Sand_conc	0,51

Fonte: a autora.

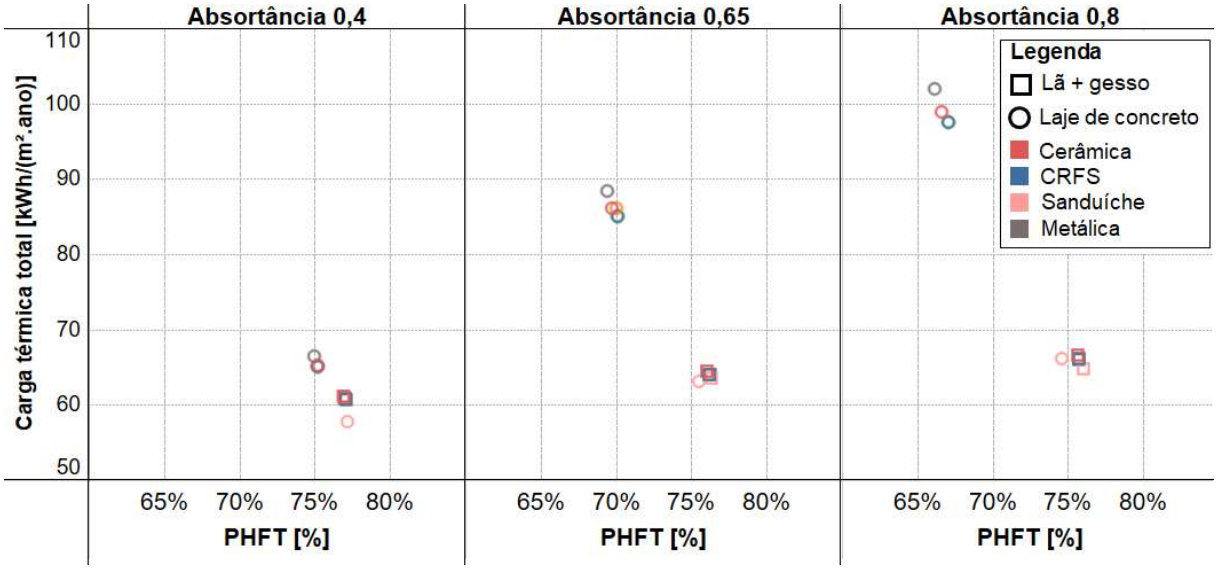
RESULTADOS

O estudo totalizou em 62 simulações, considerando 10 combinações de cobertura com 3 tipos de absortância e 2 simulações para cada caso (com ventilação natural e sem ventilação natural), além da cobertura referência. A Figura 2 representa os resultados obtidos pelas simulações, apresentando a carga térmica total no eixo y e o PHFT no eixo x. Também foram divididos os resultados de acordo com a absortância considerada, além do tipo de forro. Os melhores casos são os que se aproximam do canto inferior direito ao gráfico: menor carga térmica total e maior PHFT.

Conforme pode ser observado pelo gráfico apresentado, e como esperado, a absortância mais baixa representa os melhores resultados de desempenho térmico das coberturas. Porém, além disso, é importante notar como os resultados de sistemas sem isolamento (com laje de concreto) ficam muito mais próximos de sistemas com isolamento ao considerar absortância menor, e vice-versa.

Outro ponto importante é o resultado de desempenho da telha sanduíche com a laje de concreto. Esta composição é a única composição de laje de concreto na qual seus resultados se aproximam dos resultados das composições com isolamento do forro, sendo o único “círculo” próximo aos resultados de lã de vidro, em todas as variações de absortância. Porém, deve-se pontuar que, o caso de telha sanduíche com isolamento de lã de vidro no forro de gesso tem comportamento térmico muito próximo do restante das telhas com forro isolado. Ou seja, neste caso, adicionar mais isolamento ao forro, já com telha isolada, não necessariamente melhorou o desempenho térmico dos ambientes analisados.

Figura 2: Resultados de carga térmica total e PHFT por tipo de cobertura e absortância.



Fonte: a autora.

Ainda, nota-se que as telhas sem isolamento, aliadas à laje de concreto, têm comportamento semelhante entre os diferentes tipos de telha ao considerar baixa absortância. Por outro lado, para absortâncias maiores, e aliadas à laje de concreto, o tipo da telha impacta significativamente nos resultados, principalmente no de carga térmica total. Neste caso, a telha metálica possui pior desempenho, seguida da telha cerâmica.

Por fim, nota-se que tanto as absortâncias baixas, quanto o isolamento da cobertura, devem ser considerados a fim de se obter melhor desempenho térmico da edificação. Porém, isolar demasiadamente não traz benefícios para o desempenho térmico da edificação, e ainda, pode gerar custos elevados. Estes resultados podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados por cobertura.

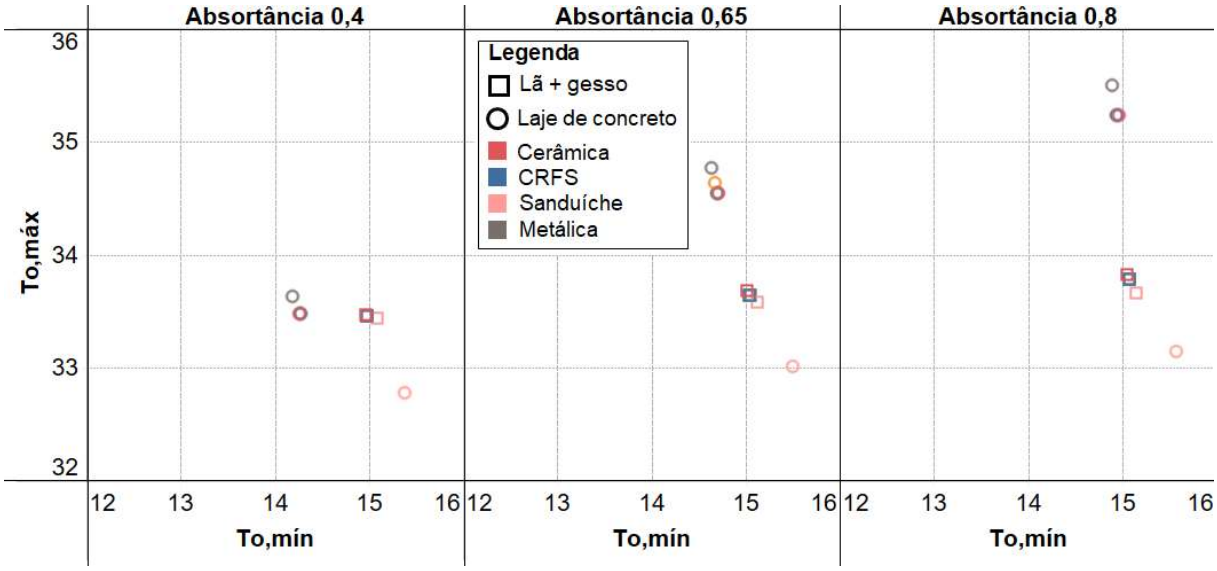
Cobertura (identificação de acordo com Tabela 1)	Absortância cobertura	PHFT	To,mín [°C]	To,máx [°C]	Carga térmica total [kWh/(m².ano)]
Cera_conc	0,4	75%	14,27	33,48	65,23
Cera_lã_gesso	0,4	77%	14,97	33,47	61,07
Crfs_conc	0,4	75%	14,27	33,48	65,10
Crfs_lã_gesso	0,4	77%	14,98	33,45	60,80
Meta_conc	0,4	75%	14,19	33,63	66,47
Meta_lã_gesso	0,4	77%	14,98	33,46	60,69
Sand_conc	0,4	77%	15,37	32,78	57,73
Sand_lã_gesso	0,4	77%	15,09	33,44	61,07
Cera_conc	0,65	70%	14,71	34,54	86,07
Cera_lã_gesso	0,65	76%	15,02	33,68	64,48
Referência	0,65	70%	14,67	34,63	86,14
Crfs_conc	0,65	70%	14,70	34,54	85,10
Crfs_lã_gesso	0,65	76%	15,04	33,65	64,08

Meta_conc	0,65	69%	14,64	34,77	88,36
Meta_lã_gesso	0,65	76%	15,05	33,64	64,03
Sand_conc	0,65	75%	15,50	33,02	63,16
Sand_lã_gesso	0,65	76%	15,12	33,58	63,50
Cera_conc	0,8	67%	14,96	35,23	98,91
Cera_lã_gesso	0,8	76%	15,06	33,82	66,56
Crfs_conc	0,8	67%	14,94	35,23	97,58
Crfs_lã_gesso	0,8	76%	15,07	33,78	66,08
Meta_conc	0,8	66%	14,89	35,49	101,91
Meta_lã_gesso	0,8	76%	15,08	33,78	66,07
Sand_conc	0,8	75%	15,57	33,15	66,17
Sand_lã_gesso	0,8	76%	15,15	33,66	64,76

Nota: PHFT: percentual de horas dentro da faixa de temperatura; To: temperatura operativa.
Fonte: a autora.

A Figura 3 a seguir apresenta os resultados obtidos das temperaturas operativas máximas e mínimas de cada caso, seguindo o mesmo padrão de apresentação de resultados da Figura 2. O melhor caso, então, é o mais próximo ao canto inferior direito: menor temperatura operativa máxima (To,máx) e maior temperatura operativa mínima (To,mín).

Figura 3: Resultados de temperatura operativa máxima e mínima por tipo de cobertura e absortância.



Fonte: a autora.

Novamente a absortância é o parâmetro de maior interferência nos resultados. Ao comparar os mesmos sistemas, nota-se significativa alteração nas temperaturas operativas máximas e mínimas, como por exemplo a telha metálica com laje de concreto: a temperatura operativa máxima passa de pouco mais de 33,5°C (absortância de 0,4) para aproximadamente 35,5°C (absortância de 0,8). Porém, sem alterações tão significativas na temperatura operativa mínima, que segue entre 14°C e 15°C nesse mesmo caso.

Especificamente para as temperaturas operativas, a inexistência de isolamento e a presença da laje de concreto torna as temperaturas internas maiores (aumentando a To,mín, mas também a To,máx). Já para sistemas de cobertura com forro de gesso isolado, este aumento se dá de forma muito mais sutil.

Avaliando especificamente as temperaturas, o melhor caso é a junção de isolamento térmico (telha sanduíche) com capacidade térmica (laje de concreto). Porém, o resultado deste caso em comparação aos casos de forro de gesso isolado, independente da absortância, não são maiores do que 0,7°C.

Por fim, embora este estudo seja uma análise unicamente de desempenho térmico, é importante avaliar outros critérios importantes na construção das edificações, principalmente residenciais e de baixa renda. O custo de cada sistema é impactante na solução de projeto, além da viabilidade de implementação, tanto em edificações novas, quanto em edificações construídas. Visto proximidade nos resultados de desempenho entre diferentes tipos de telha com isolamento do forro e a telha sanduíche (independente do forro), a análise de custo pode adicionar informação na escolha do sistema e deve ser considerada. Além disso, em edificações existentes, deve ser considerada também a facilidade de retrofit entre adicionar um forro com isolamento, independente da telha, ou alterar todas as telhas, além de considerar a pintura na cor branca.

CONCLUSÕES

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o uso de isolamento térmico na cobertura de edificações residenciais localizadas na cidade de São Paulo. Os critérios considerados na análise foram os recomendados no Método de Simulação do item Desempenho Térmico na NBR 15575: carga térmica total, percentual de horas dentro da faixa de temperatura (PHFT), temperatura operativa mínima (To,mín) e máxima (To,máx). Foram analisadas onze combinações entre tipos de telhas e forro, além de 3 variações de absortância.

A partir dos resultados foi possível concluir alguns pontos importantes, tais quais:

- quanto menor a absortância, melhores os resultados de desempenho térmico. Além disso, os resultados de sistemas sem isolamento ficam muito mais próximos de sistemas com isolamento ao utilizar menor absortância;
- a única combinação de telha que apresentou resultados de carga térmica mais baixa e PHFT mais alto, considerando a laje de concreto, foi a telha sanduíche, se aproximando do restante dos casos de cobertura com forro de gesso e isolamento;
- o caso de telha sanduíche com isolamento de lã de vidro no forro de gesso acarreta desempenho térmico muito próximo ao restante das telhas com forro isolado. Logo, adicionar mais isolamento ao forro com a telha isolada não traz melhora significativa ao desempenho térmico;
- a proximidade dos resultados entre os diferentes tipos de telha com isolamento do forro e a telha sanduíche traz a necessidade de avaliar outros critérios para considerar a melhoria da edificação. O custo é um deles, visto seu impacto significativo na viabilidade da melhoria, seja em edificações novas ou já construídas.

É importante ressaltar que este estudo foi realizado para a cidade de São Paulo e tem como base uma tipologia residencial unifamiliar térrea, com uma única orientação (rotacionada a 45° em relação a norte) e, portanto, estas conclusões dizem respeito a estas restrições.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Saint-Gobain Research Brasil pelos recursos financeiros aplicados no desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY and UN ENVIRONMENT PROGRAMME. **2019 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector**. 2019.

[2] DELMASTRO, C.; ABERGEL, T.; LANE, K.; MONSCHAUER, Y. **Cooling.** International Energy Agency: Report. 2020. Disponível em: https://www.iea.org/reports/cooling. Acesso em: 16 setembro de 2021.

[3] ABERGEL, T.; DELMASTRO, C. **Is cooling the future of heating?** International Energy Agency: Commentaries. 2020. Disponível em: https://www.iea.org/commentaries/is-cooling-the-future-of-heating. Acesso em: 16 setembro de 2021.

[4] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Efficiency 2020**. IEA Publications, 2020.

[5] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global Energy Review 2021: Assessing the effects of economic recoveries on global energy demand and CO_2 emissions in 2021.** IEA Publications, 2021.

[6] TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Policy**, v. 87, p. 524–541, dez. 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.041

[7] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Programa brasileiro de etiquetagem:** tabelas de eficiência energética. Disponível em: https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica. Acesso em: 04 agosto de 2022.

[8] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **E4 Country Profile: Energy Efficiency in Brazil.** IEA: Article. Disponível em: https://www.iea.org/articles/e4-country-profile-energy-efficiency-in-brazil. Acesso em: 16 setembro de 2021.

[9] MELO, A. P.; LAMBERTS, R.; VERSAGE, R. S., ZHANG, Y. Is thermal insulation Always beneficial in hot climate? in: 14TH CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION. 2015, Hyderabad, India. **Proceedings of BS2015**. p. 1353-1360.

[10] MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Opaque envelope parameters bersus energy consumption in comercial buildings in Brazil. **Journal of Building Performance Simulation**, p. 237-244, 2008. DOI: https://doi.org/10.1080/19401490802556165

[11] MELO, A. P.; SORGATO, M. J.; LAMBERTS, R. Building energy performance assessment: Comparison between ASHRAE standard 90.1 and Brazilian regulation. **Energy and Buildings**, v. 70, p. 372-383, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.080

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Desempenho de edificações residenciais: Requisitos gerais. 2021.

[13] BIG LADDER SOFTWARE. **Euclid**. Disponível em: https://bigladdersoftware.com/projects/euclid. Acesso em 04 de agosto de 2022.

[14] TRIMBLE. **SketchUp Make.** Disponível em: https://www.sketchup.com/. Acesso em 04 de agosto de 2022.

[15] LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **NBR 15575-2021**: Arquivo de simulação exemplo. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/NBR15575-2020. Acesso em: 04 de agosto de 2022.