

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS PAREDES E COBERTURAS
DE UMA EDIFICAÇÃO UTILIZANDO CONCRETOS E ARGAMASSAS
LEVES COM VERMICULITA**

DOI: 10.19177/rgsa.v9e012020182-196



Elayne Thais Gruber¹

Gabriela Azambuja Mendes²

Patricia Fernanda Bergmann Becker³

Carneane Effting⁴

Ana Mirthes Hackenberg⁵

Adilson Schackow⁶

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho termoenergético de uma edificação localizada na cidade de Joinville/SC, utilizando como ferramenta de simulação o programa computacional *EnergyPlus*. O procedimento de simulação foi realizado de acordo com os critérios da NBR 15.575 (ABNT, 2013). Foram produzidas argamassas para revestimento de paredes, com substituição de 10% do agregado miúdo por vermiculita, em volume, e concretos com substituição de 65% do seu volume por vermiculita e aditivo incorporador de ar na cobertura. As argamassas e concretos foram caracterizados quanto à resistência à compressão, densidade de massa aparente e condutividade térmica. Comparou-se os resultados da simulação da edificação com materiais convencionais e com vermiculita. As simulações indicaram que o uso de argamassas e concretos leves proporcionaram melhor desempenho termoenergético da edificação.

Palavras-chave: Vermiculita. Concretos e argamassas leves. Desempenho térmico. Simulação computacional.

¹ Engenheira Civil pela Sociedade Educacional de Santa Catarina (UNISOCIESC) e Mestranda em Engenharia Civil pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). E-mail: elaynethaisgruber@gmail.com.

² Engenheira Civil pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) e Mestre em Engenharia Civil pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). E-mail: gabriela.azambujam@gmail.com.

³ Engenheira Civil pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) e Mestranda em Engenharia Civil pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). E-mail: patricia.bergmann@hotmail.com.

⁴ Engenheira Civil pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) e Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). E-mail: carmeane.effting@udesc.br.

⁵ Arquiteta e Urbanista pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), Mestre em Arquitetura pela Universidade de São Paulo (USP) e Doutora em Planejamento de Sistema Energéticos pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) . E-mail: ana.hackenberg@udesc.br.

⁶ Engenheiro de Produção e Sistemas pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) e Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). E-mail: adilson.schackow@udesc.br.

ANALYSIS OF THERMAL PERFORMANCE OF WALLS AND ROOFS OF A BUILDING USING LIGHTWEIGHT CONCRETES AND MORTARS WITH VERMICULITE



ABSTRACT

The present work aimed to evaluate the thermoenergetic performance of a building located at Joinville/SC, using as simulation tool the computer program EnergyPlus. The simulation was performed according to the criteria of NBR 15.575 (ABNT, 2013). Mortars were produced to cover the walls, with replacement of 10% of the fine aggregate with vermiculite, by volume, and concretes with 65% replacement of its volume by vermiculite and air incorporating additive in the roof. Mortars and concretes were characterized for compressive strength, density and thermal conductivity. The results of the building simulation were compared with conventional materials and vermiculite. The simulations indicated that lightweight mortars and concretes provided better thermoenergetic performance of the building.

Keywords: Vermiculite. Lightweight concretes and mortars. Thermal performance. Computational simulation.

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção é considerado o maior contribuinte individual no consumo mundial de energia. Em vista disso, uma adequada compreensão da

natureza e estrutura do uso de energia em edificações é fundamental para estabelecer políticas de energia (Allouhi *et al.*, 2015). No Brasil, as edificações residenciais correspondem a 9,9% do consumo energético total do país (Brasil, 2019). Atribui-se a isto o crescimento populacional, necessidade de maiores níveis de conforto e aumento do tempo gasto nas edificações (Kong *et al.*, 2014).

Considerando que as edificações representam parcela de contribuição significativa e que há incertezas em relação aos preços futuros da energia, a eficiência energética têm sido debatida em vários países (Kneifel, 2010).

Uma das possibilidades internacionalmente reconhecidas para diminuir o consumo de energia é estabelecer normas para avaliar e classificar as edificações quanto ao desempenho energético (Fossati *et al.*, 2016). O Brasil começou a desenvolver metodologias para avaliar a eficiência energética das edificações a partir da Lei nº 10.295 (Brasil, 2001), que trata da conservação e uso racional da energia. Com isso, em 2010, aprovou-se o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética da Edificações Residenciais (RTQ-R) (Brasil, 2010).

A redução do consumo de energia para aquecimento e resfriamento das edificações é, atualmente, um dos maiores desafios da sustentabilidade global, pois a maioria das edificações é executada com materiais que possuem baixos níveis de isolamento e elevadas perdas térmicas (Aste *et al.*, 2015). A utilização de materiais com melhores propriedades térmicas afeta a maneira pela qual uma edificação reage frente às mudanças no ambiente externo e condições internas, influenciando nas cargas térmicas de aquecimento e resfriamento (Karlsson *et al.*, 2013).

Devido à crises energéticas e demandas por desenvolvimento sustentável, buscam-se estratégias visando a economia de energia nas edificações (Sadeghifam *et al.*, 2015). Neste sentido, as propriedades e desempenho dos materiais que constituem as edificações devem ser aprimorados antes de considerar qualquer equipamento energético (Jeanjean, Olives e Py, 2013).

Como as propriedades termofísicas dos materiais utilizados nas paredes e coberturas influenciam significativamente nas taxas de transferência de calor, aquecimento e resfriamento do ambiente (Jin, Medina e Zhang, 2014), a

análise da eficiência térmica dos materiais que envolvem o ambiente construído é de fundamental importância na perspectiva de impacto ambiental e uso de energia nas edificações (Morrissey e Horne, 2011).

Com isso, nota-se um crescente interesse em estudar a dinâmica térmica das edificações, a fim de entender suas características, desempenho, gerenciamento e uso de energia, buscando melhorar a capacidade de preservação do calor e isolamento térmico (Diao, Sun e Yang, 2018).

A simulação computacional permite analisar o desempenho termoenergético da edificação a partir de suas características dimensionais, componentes construtivos, sistemas de iluminação e condicionamento de ar, além de características de uso e ocupação (Didoné e Pereira, 2010). A utilização de programas de simulação busca prever o desempenho energético e ambiental de edificações, servindo como base para as decisões de projeto ou como comprovação da análise custo/benefício das decisões (Lamberts *et al.*, 1997).

As ferramentas de simulação energética de toda a edificação aprimoram a capacidade dos projetistas de analisarem o comportamento térmico, permitindo uma avaliação do conforto dos usuários (Saffari *et al.*, 2017). Conforme Lamberts *et al.* (1997), um edifício é energeticamente mais eficiente que outro quando apresenta as mesmas condições de conforto com um menor custo de energia.

Tendo em vista a importância do uso eficiente de energia e a necessidade de redução do consumo energético das edificações, o presente trabalho busca avaliar o desempenho termoenergético de uma edificação localizada na cidade de Joinville/SC, Zona Bioclimática 5, utilizando o método de simulação computacional *EnergyPlus*, através da análise da influência da combinação de propriedades térmicas de concretos e argamassas leves com vermiculita nas paredes e coberturas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Definição do modelo da edificação

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013) recomenda o emprego do programa *EnergyPlus* para a simulação computacional, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos. Neste trabalho, foi utilizada a versão *EnergyPlus* 8.4.0.

Para a avaliação da influência dos parâmetros aplicou-se um modelo geométrico semelhante ao caso 600 da norma ASHRAE Standard 140 (ASHRAE, 2012). A escolha deste modelo como referência foi baseada na recomendação da NBR 15575-1 (ABNT, 2013) e do Regulamento Técnico da Qualidade para Edificações Residenciais – RTQ-R (Brasil, 2010).

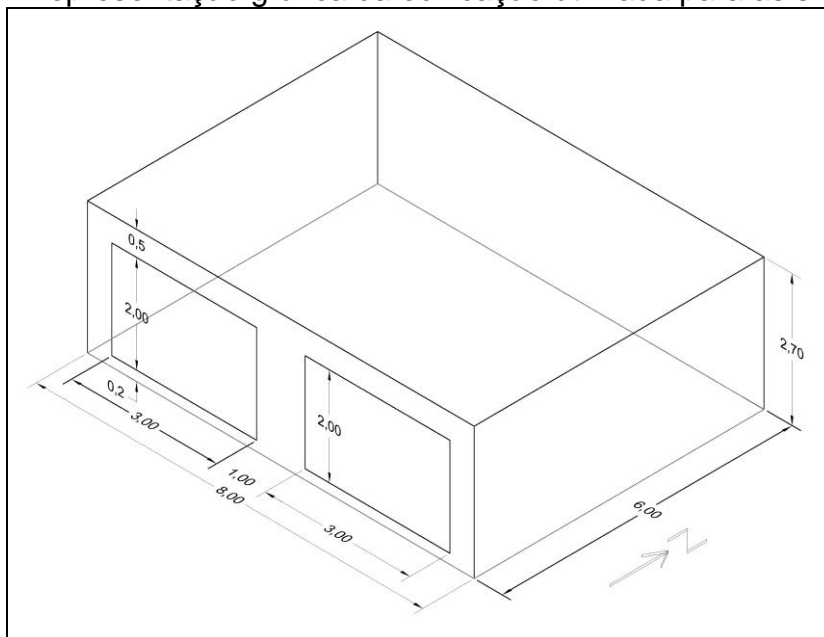
Trata-se de um modelo simplificado constituído por um único ambiente correspondente a uma edificação de 6,00 metros de largura por 8,00 metros de comprimento, pé-direito de 2,70 metros e 2 janelas de 6,00m² localizadas na fachada sul, conforme representado na Figura 01.

A geometria foi mantida em todas as simulações. O número de habitantes foi fixado em 2 pessoas. Considerou-se uma taxa de infiltração de 0,5 troca de ar por hora e uma carga interna fixa igual a 200W durante as 24h diárias.

O tipo de piso determinado foi em concreto convencional, e este manteve-se fixo em todos os modelos simulados. Para a cobertura, a resistência térmica determinada para a camada de ar foi de 0,16 m².K/W, considerada superfície com alta emissividade.

O sistema de condicionamento de ar do caso escolhido é utilizado para fornecer os dados de carga térmica de aquecimento e resfriamento. Considerou-se que o sistema de aquecimento é acionado sempre que a temperatura do ambiente for menor que 18°C e o sistema de resfriamento é acionado quando a temperatura for maior que 24°C.

Figura 01 – Representação gráfica da edificação utilizada para as simulações



Fonte: Os autores (2019)

2.2 Materiais utilizados nas simulações computacionais

Um dos parâmetros que influenciam no desempenho termoenergético das edificações é a propriedade térmica dos materiais construtivos utilizados. Portanto, para a realização deste trabalho, foram produzidos concretos e argamassas leves com vermiculita.

As argamassas de revestimento de paredes foram confeccionadas com a substituição de 10% do volume do agregado miúdo por vermiculita, cimento Portland tipo CP II – Z32 e areia média de rio, conforme proporções listadas na Tabela 01.

Em seguida, determinou-se a a densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e resistência à compressão da mistura. Obteve-se densidade de massa aparente igual a 1488 kg/m³, condutividade térmica de 0,63 W/m.K e resistência à compressão de 3,85 ± 0,41MPa.

Tabela 01 - Materiais utilizados para a confecção de argamassas de revestimento com vermiculita

| Material | Cimento (kg) | Vermiculita (litros) | Areia (kg) | Cal (kg) | Água (kg) | Aditivo Superplastificante (g) | Aditivo Incorporador de ar (g) |
|---|--------------|----------------------|------------|----------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|
| Argamassa de revestimento com vermiculita | 0,285 | 0,132 | 1,78 | 0,247 | 0,382 | 3,42 | 2,85 |

Fonte: Os autores (2019)

Os concretos leves foram confeccionados com cimento Portland CP II – Z32, areia média de rio e vermiculita proveniente da empresa Refratários de Santa Catarina Ltda, mantida em água durante 24 horas antes de ser utilizada na mistura, com diâmetro máximo dos grãos de 3mm e densidade de 1,1 kg/dm³ (com água absorvida). Foi realizada a substituição de 65% do volume de concreto pela vermiculita. Os traços foram definidos com base nos traços comerciais, que descrevem a proporção entre o peso de cimento e o volume do agregado leve, sendo de 1kg para 4 litros, e a proporção entre o peso da água e peso do cimento (fator água/cimento) igual a 0,8. Foram realizadas adaptações com relação ao fator água/cimento do traço comercial devido à utilização do aditivo plastificante Glenium® 160 SCC e do aditivo incorporador de ar Micro Air®. A Tabela 02 apresenta as proporções da mistura de concreto realizada.

Tabela 02 - Materiais utilizados para a confecção de concretos leves com vermiculita

| Material | Cimento (kg) | Vermiculita (litros) | Areia (kg) | Água (kg) | Aditivo Superplastificante (g) | Aditivo Incorporador de ar (g) |
|-------------------------------|--------------|----------------------|------------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|
| Concreto leve com vermiculita | 2,59 | 10,35 | 12,46 | 1,18 | 25,9 | 25,9 |

Fonte: Os autores (2019)

Os valores obtidos para a densidade de massa aparente, condutividade térmica e resistência à compressão foram, respectivamente, 1130 kg/m³, 0,34 W/m.K e 6,31 ± 0,35MPa.

Para os outros materiais aplicados foram retirados os valores de densidade de massa aparente, condutividade térmica e calor específico dos valores disponibilizados na NBR 15220-2 (ABNT, 2005). As propriedades térmicas dos materiais utilizados na construção das paredes e cobertura dos modelos estão listadas nas Tabelas 03 e 04.

Tabela 03 - Propriedades térmicas dos materiais construtivos utilizados nas paredes

| Material | Propriedade térmica | | |
|---|--|-------------------------------------|----------------------|
| | Densidade de massa aparente (ρ) | Condutividade térmica (λ) | Calor específico (c) |
| | [kg/m ³] | [W/(m.K)] | [J/(kg.K)] |
| Argamassa de reboco convencional (2,5cm) | 2000 | 1,15 | 1000 |
| Argamassa de reboco com vermiculita (2,5cm) | 1488 | 0,63 | 1000 |
| Tijolo 06 furos (10cm) | 1600 | 0,90 | 920 |

Fonte: Os autores (2019)



2.3 Modelagem e Simulação Energética

A fim de analisar o desempenho termoenergético de edificações com argamassas e concretos leves com vermiculita, foram definidos 04 modelos para as simulações, conforme listados na Tabela 05.

Tabela 04 - Propriedades térmicas dos materiais construtivos utilizados na cobertura

| Material | Propriedade térmica | | |
|-------------------------------|--|-------------------------------------|----------------------|
| | Densidade de massa aparente (ρ) | Condutividade térmica (λ) | Calor específico (c) |
| | [kg/m ³] | [W/(m.K)] | [J/(kg.K)] |
| Concreto convencional | 2300 | 1,75 | 1000 |
| Concreto leve com vermiculita | 1130 | 0,34 | 1000 |
| Gesso | 750 | 0,35 | 840 |

Fonte: Os autores (2019)

A integração do *EnergyPlus* ao programa *SketchUp* possibilita a modelagem de todos os elementos presentes na edificação. A vinculação do *SketchUp* ao *EnergyPlus* é feita através do *plug-in OpenStudio*, que permite criar e editar a geometria da edificação em arquivos de entrada ao *EnergyPlus*, através de arquivos no formato IDF.

Tabela 05 - Modelos utilizados nas simulações energéticas

| Modelo Adotado | | Característica construtiva das paredes | Característica construtiva da cobertura |
|----------------|---------|---|---|
| Modelo 01 | Camadas | Argamassa de reboco convencional (2,5cm) | Concreto convencional |
| | | Tijolo 06 furos (10cm) | Camada de Ar (2,0 < e ≤ 5,0cm) |
| | | Argamassa de reboco convencional (2,5cm) | Gesso |
| Modelo 02 | Camadas | Argamassa de reboco com vermiculita (2,5cm) | Concreto leve com vermiculita |
| | | Tijolo 06 furos (10cm) | Camada de Ar (2,0 < e ≤ 5,0cm) |
| | | Argamassa de reboco com vermiculita (2,5cm) | Gesso |
| Modelo 03 | Camadas | Argamassa de reboco com vermiculita (2,5cm) | Concreto convencional |
| | | Tijolo 06 furos (10cm) | Camada de Ar (2,0 < e ≤ 5,0cm) |
| | | Argamassa de reboco com vermiculita (2,5cm) | Gesso |
| Modelo 04 | Camadas | Argamassa de reboco convencional (2,5cm) | Concreto leve com vermiculita |
| | | Tijolo 06 furos (10cm) | Camada de Ar (2,0 < e ≤ 5,0cm) |
| | | Argamassa de reboco convencional (2,5cm) | Gesso |

Fonte: Os autores (2019)

Inicialmente, a edificação foi modelada no software *SketchUp* 2019 utilizando o *plug-in Legacy OpenStudio* versão 2.8.0, introduzindo os dados de geometria e dimensões da edificação, conforme ilustrado na Figura 02.

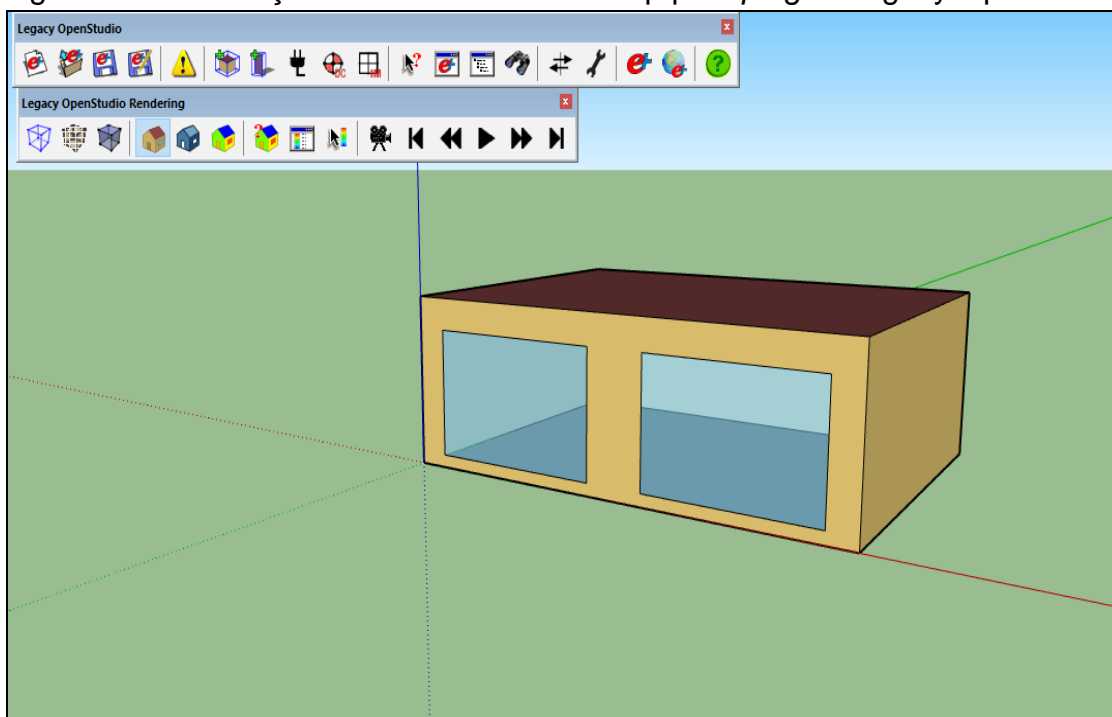
Os modelos digitais produzidos no software *SketchUp* foram exportados no formato IDF para o *EnergyPlus*, onde foram inseridos os dados estabelecidos para materiais da edificação, potência instalada e ocupação.

As simulações foram executadas para o ano inteiro (8760 horas), utilizando o arquivo climático da cidade de Joinville/SC.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após as simulações, foram obtidos os resultados das cargas térmicas anuais para aquecimento e resfriamento, em MWh, da edificação estudada, listadas na Tabela 06.

Figura 02 – Edificação modelada no SketchUp pelo *plug-in* Legacy OpenStudio



Fonte: Os autores (2019)

Os gráficos das Figuras 03 e 04 ilustram, respectivamente, as cargas térmicas necessárias para aquecimento e resfriamento da edificação simulada com paredes e cobertura de materiais convencionais (Modelo 01) e da simulação com paredes e coberturas utilizando vermiculita (Modelo 02).

Tabela 06 - Resultados das cargas térmicas anuais obtidos com a simulação computacional

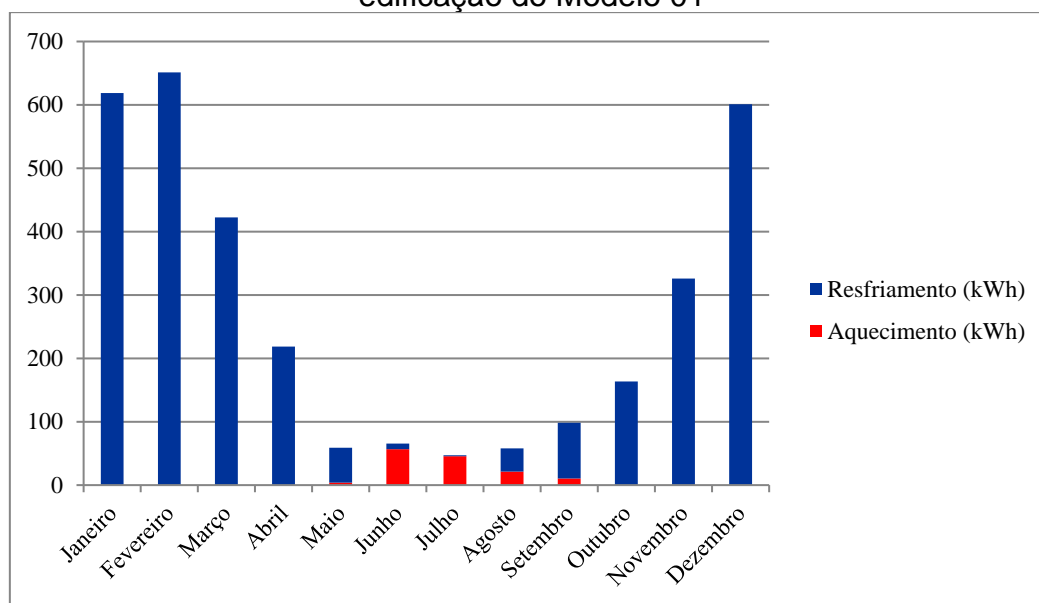
| Modelo Adotado | Carga térmica anual | | TOTAL (MWh) |
|----------------|---------------------|--------------------|-------------|
| | Aquecimento (MWh) | Resfriamento (MWh) | |
| Modelo 01 | 0,1386 | 3,1913 | 3,3299 |
| Modelo 02 | 0,1085 | 3,0420 | 3,1505 |
| Modelo 03 | 0,1286 | 3,1917 | 3,3204 |
| Modelo 04 | 0,1166 | 3,0584 | 3,1750 |

Fonte: Os autores (2019)

Devido às características climáticas de Joinville/SC, pode-se observar que as cargas térmicas para resfriamento da edificação são consideravelmente maiores do que as cargas térmicas para aquecimento.

A Tabela 07 exemplifica, numericamente, a diferença dos valores das cargas térmicas de aquecimento e resfriamento anuais obtidas entre os Modelos 01 e 02.

Figura 03 - Cargas térmicas para aquecimento e resfriamento da edificação do Modelo 01

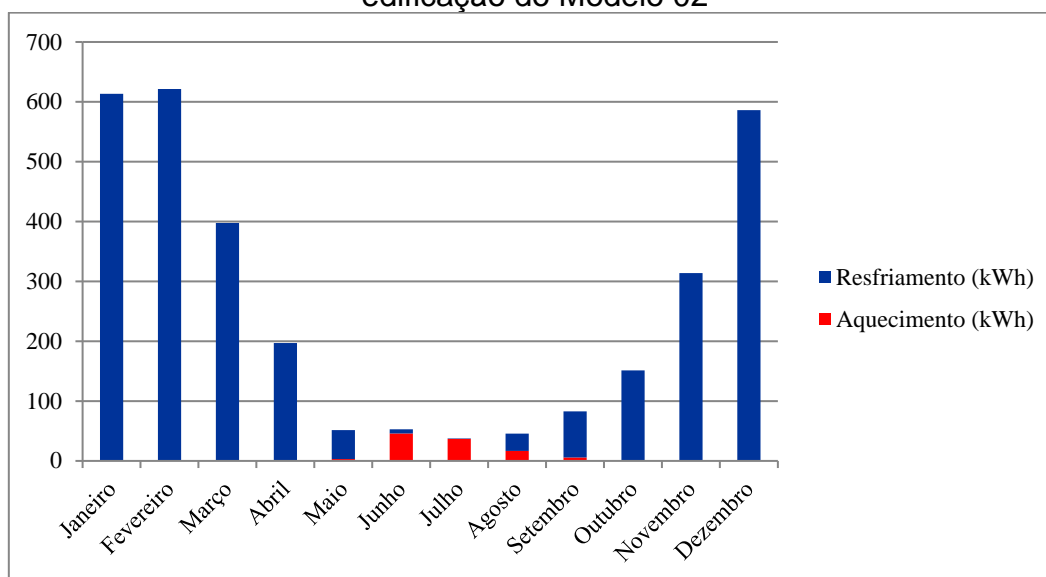


Fonte: Os autores (2019)

A maior diferença observada foi na carga térmica de resfriamento do mês de Fevereiro. Com isso, pode-se afirmar que a edificação modelada com paredes e cobertura de materiais convencionais consome, no mês de fevereiro, 29,81 kWh a mais do que a edificação composta de materiais com vermiculita para atingir as mesmas condições de conforto.

Com os dados obtidos, pode-se observar que a edificação representada pelo Modelo 02, com materiais construtivos compostos por substituições de vermiculita nas paredes e cobertura foi o que apresentou melhor desempenho termoenergético, apresentando redução de 5,4% da carga térmica anual total para aquecimento e resfriamento quando comparado ao Modelo 01, simulado com materiais convencionais.

Figura 04 - Cargas térmicas para aquecimento e resfriamento da edificação do Modelo 02



Fonte: Os autores (2019)

Tabela 07 - Diferença nas cargas térmicas de aquecimento e resfriamento entre os Modelos 01 e 02

| Mês | Diferença na Carga Térmica de Aquecimento(kWh) | Diferença na Carga Térmica de Resfriamento (kWh) |
|-----------|--|--|
| Janeiro | 0 | -5,500 |
| Fevereiro | 0 | -29,810 |
| Março | 0 | -24,940 |
| Abril | 0 | -21,640 |
| Maio | -0,680 | -6,790 |
| Junho | -10,730 | -1,840 |
| Julho | -8,660 | -0,660 |
| Agosto | -4,610 | -7,790 |
| Setembro | -4,470 | -11,280 |
| Outubro | 0 | -12,270 |
| Novembro | 0 | -12,140 |
| Dezembro | 0 | -14,660 |

Fonte: Os autores (2019)

Além disso, os resultados demonstram que o Modelo 04, simulado com paredes de argamassa de reboco convencional e cobertura com concreto leve com vermiculita, apresentou desempenho mais favorável em relação ao Modelo 03, com paredes de argamassa de reboco com vermiculita e concreto

convencional na cobertura, indicando que a cobertura exerceu maior influência no desempenho termoenergético favorável para a edificação estudada.

4 CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi avaliada a influência de argamassas e coberturas confeccionadas com vermiculita no desempenho termoenergético de uma edificação através de simulação computacional realizada pelo *EnergyPlus*.

A avaliação do desempenho da edificação foi realizada por meio de comparação entre os resultados obtidos para uma edificação convencional, também modelada no mesmo software.

Observou-se que a utilização de materiais construtivos com melhores propriedades térmicas nas paredes e coberturas proporcionou redução do consumo anual total de energia para aquecimento e resfriamento em relação à edificação com materiais construtivos convencionais, resultando em edificações mais eficientes.

Em vista disso, pode-se afirmar que a aplicação de materiais com propriedades isolantes é uma alternativa adequada para melhorar o desempenho termoenergético de edificações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Brazilian Association for Technical Standards (2005), **NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações: Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**, Rio de Janeiro.

ABNT, Brazilian Association for Technical Standards (2013), **NBR 15575-1: Edificações habitacionais - Desempenho: Parte 1: Requisitos gerais**, Rio de Janeiro.

Allouhi, A., El Fouih, Y., Kousksou, T., Jamil, A., Zeraouli, Y., Mourad, Y. (2015), "Energy consumption and efficiency in buildings: current status and future trends", **Journal of Cleaner Production**, vol. 109, pp. 118-130.

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers (2012), **ASHRAE Standard 140-2011: Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs**, Atlanta.

Aste, N., Leonforte, F., Manfren, M., Mazzon, M. (2015), "Thermal inertia and efficiency – Parametric simulation assesment on a calibrated case study", **Applied Energy**, vol. 145, pp. 111-123.

Brasil (2001), *Lei nº 10.295*. "**Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências**", Diário Oficial da União, Brasília.

Brasil (2010), **Portaria nº 449, de 25 de novembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**, Instituto Nacional de Metrologia - INMETRO.

Brasil (2019), **Balanco Energético Nacional 2019 – Relatório Final - Ano Base 2018**, Ministério de Minas e Energia – Empresa de Pesquisa Energética, Brasília.

Diao, R., Sun, L., Yang, F. (2018), "Thermal performance of building wall materials in villages and towns in hot summer and cold winter zone in China", **Applied Thermal Energy**, v. 128, pp. 517-530.

Didoné, E. L., Pereira, F. O. R. (2010), "Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações", **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4.

Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental

Fossati, M., Scalco, V. A., Linczuk, V. C. C., Lamberts, R. (2016), "Building energy efficiency: An overview of the Brazilian residential labeling scheme", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 65, pp.1216-1231.

Jeanjean, A., Olives, R., Py, X. (2013), "Selection criteria of thermal mass materials for low-energy building construction applied to conventional and alternative materials", **Energy and Buildings**, v. 63, pp. 36-48.

Jin, X., Medina, M.A., Zhang, X. (2014), "On the placement of a phase change material thermal shield within the cavity of buildings walls for heat transfer rate reduce", **Energy**, v. 73, pp. 780-786.

Karlsson, J., Wadsö, L., Öberg, M. (2013), "A conceptual model that simulates the influence of thermal inertia in building structures", **Energy and Buildings**, v.60, pp. 146-151.

Kneifel, J. (2010), "Life cycle carbon and cost analysis of energy efficiency measures in new commercial buildings", **Energy and Buildings**, v. 42, pp. 333-340.

Kong, X., Lu, S., Li, Y., Huang, J., Liu, S. (2014), "Numerical study on the thermal performance of building wall and roof incorporating phase change material panel for passive cooling application", **Energy and Buildings**, v. 81, pp. 404-415.

Lamberts, R., Dutra, L., Pereira, F. (1997), **Eficiência energética na arquitetura**, PW Editores, São Paulo, SP.

Morrissey, J., Horne, R. E. (2011), "Life cycle cost implications of energy efficiency measures in new residential buildings", **Energy and Buildings**, v. 43, pp. 915-924.

Sadeghifam, A. N., Zahraee, S. M., Meynagh, M. M., Kiani, I. (2015), "Combined use of design of experiment and dynamic building simulation in assessment of energy efficiency in tropical residential buildings", **Energy and Buildings**, v. 86, pp. 525-533.

Saffari, M., Gracia, A., Ushak, S., Cabeza, L.F. (2017), "Passive cooling of buildings with phase change materials using whole building energy simulation tools: A review", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.80, pp. 1239-1255.

