

IMPACTO DO USO DE ISOLANTES TÉRMICOS EM AMBIENTES RESIDENCIAIS COM BAIXA CARGA TÉRMICA INTERNA

Bruno Aied Passos (1); Fernando Simon Westphal (2)

(1) Arquiteto e urbanista, mestrando do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, brunoaiedpassos@gmail.com.

(2) Dr. Eng., Professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, fernando.sw@ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Caixa Postal 476, CEP 88040-900, Florianópolis – SC, (48) 3721-4856.

RESUMO

Diversos são os estudos, ao redor do mundo, que vêm avaliando os impactos da utilização de isolante térmico nas vedações de edificações. No Brasil, o material é pouco utilizado e não se sabe o real efeito de sua implementação na construção civil para as condições climáticas do país. Este artigo visa discutir a utilidade de isolantes térmicos em ambientes residenciais naturalmente ventilados com baixa carga térmica interna, na cidade de Florianópolis, região sul do país. O estudo comparativo, feito por meio de um modelo computacional elaborado e simulado no software EnergyPlus 8.1, apresenta resultados que indicam que o uso de lã de vidro como isolante térmico aplicado à alvenaria, aliado à ventilação natural, possibilita uma redução da amplitude térmica das temperaturas do ar, e principalmente das temperaturas operativas. Dessa forma, melhora as condições térmicas dos ambientes durante a maior parte do ano, constatando ser benéfica tal configuração de envelopes para esta localidade.

Palavras-chave: simulação computacional, isolante térmico, desempenho térmico.

ABSTRACT

There are a large number of studies around the world which have been evaluating the influence of the use of thermal insulation in building seals. In Brazil, the material is not so used and it is not known the real effect of its implementation in construction due the climatic conditions in the country. This paper aims to discuss the usefulness of the thermal insulation in residential naturally ventilated residential buildings with low internal loads in Florianópolis, in southern Brazil. The comparative study, built and simulated in a computer model using the software EnergyPlus 8.1, shows that the use of glass wool as insulation material applied to masonry, combined to natural ventilation, enables a reduction in the daily range temperature of the air, and especially in the operative temperature. Hence, it improves the thermal conditions of the built environment throughout most of the year, concluding being beneficial such configuration of envelope for this location.

Keywords: computer simulation, thermal insulation, thermal performance.

1. INTRODUÇÃO

O uso de isolantes térmicos incorporados ao sistema construtivo é ainda hoje pouco explorado no Brasil. Este cenário se apresenta desta forma, principalmente por questões culturais, financeiras, devido à falta de mão de obra qualificada para a adoção de outros sistemas construtivos que não sejam a alvenaria, assim como, em razão do escasso conhecimento de suas propriedades físicas por aqueles que estão diretamente envolvidos no ramo da construção civil.

Em diversos países do mundo, e em diversos climas, vêm se estudando os efeitos da utilização de isolantes térmicos em edificações (ALDAWI et al., 2013; ASAN, 2000; BOJÍĆ; MILETIĆ; BOJÍĆ, 2014; CHIRARATTANANON; DUC HIENC; TUMMUA, 2012; DONGMEI et al., 2012; FRIESS et al., 2012; KOLAITIS et al., 2013; KUMAR; SUMAN, 2013; NYERS et al., 2015; ZHU; HUCKEMANNA; NORBERG, 2011). Na maior parte destes estudos tem-se comprovado seus benefícios, seja para a obtenção de condições térmicas mais confortáveis, ou pela eficiência energética adquirida.

A maior eficácia do isolante térmico aplicado à construção civil geralmente está associada a climas frios ou de maior amplitude térmica. Um bom exemplo para tal afirmação são as pesquisas como as de Bojić, Miletic e Bojić (2014) e de Nyers et. al. (2015), que demonstram os benefícios da implementação do material no clima frio da Sérvia.

Da mesma forma, Zhu, Huckemanna e Norberg (2011) e Dongmei et. al. (2012) constatam que para o clima de diferentes partes do território chinês, locais como Xangai e Pequim, cujo clima é frio e possui considerável amplitude térmica anual, o uso de isolante térmico em edificações traz maiores benefícios, além de serem necessárias maiores espessuras do material, ao comparar com localidades de clima mais quente e úmido como Guangzhou. Os primeiros aplicam seus estudos em paredes de concreto em conjunto com a utilização de isolante térmico (XPS). As espessuras requeridas foram 216mm, 205mm e 116mm para Pequim, Xangai e Guangzhou respectivamente (ZHU; HUCKEMANNA; NORBERG, 2011). Dongmei et. al. (2012) em pesquisa semelhante mostraram ser benéfica a instalação de grandes espessuras de isolante térmico em paredes de concreto, nas cidades de Pequim e Xangai, e de pequenas espessuras na cidade de Guangzhou.

O uso de isolantes térmicos em locais de clima quente e grande amplitude térmica também se mostra bastante benéfico ao comportamento térmico de edificações, como demonstra a pesquisa de Friess et. al. (2012), que ao simular computacionalmente diversos modelos de paredes de uma edificação residencial em Dubai, concluiu que o uso de isolante pode diminuir em até 40% o consumo de energia elétrica.

Edificações em climas quentes e úmidos também podem ser beneficiadas com o uso de isolantes térmicos, como aponta estudos de Aldawi et. al. (2013), que comprovam, por meio de simulações computacionais, que o uso destes em conjunto com paredes de alta massa térmica, podem ajudar na economia de até 38,2% de energia para aquecimento e resfriamento para habitações sob estas condições climáticas na Austrália, comparados com paredes convencionais, compostas por tijolo, câmaras de ar, estrutura de madeira e placa de gesso, partindo da face exterior para a face interior da mesma.

Existem, no entanto, limitações para o uso de isolantes térmicos em climas quentes e úmidos, tais como seu uso em edifícios com grandes áreas de janelas envidraçadas e grande carga térmica interna, o que se dá principalmente em edificações de uso público, como explicitam Chirarattananon, Duc Hienc e Tummua (2012) em seu estudo feito no clima da Tailândia.

O clima da cidade de Florianópolis, localizada na região sul do Brasil, apresenta um período quente e úmido durante primavera e verão, e um período frio e de menor umidade referente às estações de outono e inverno, constituindo, desta forma, um verdadeiro desafio quanto à elaboração de uma envoltória que permita boas condições térmicas em edificações durante o ano todo.

Um estudo mais aprofundado sobre o desempenho térmico da envoltória de edificações residenciais é de suma importância, uma vez que essas edificações são hoje responsáveis por 27% do consumo energético no Brasil (EPE, 2014) e que este percentual vem crescendo nos últimos anos, em parte por causa da utilização de aparelhos de ar condicionado.

Neste trabalho são feitas simulações computacionais para verificar potencialidades e limitações na melhoria do desempenho térmico a partir da aplicação de isolante térmico em conjunto com alvenaria em ambientes de baixa carga térmica de edificações residenciais naturalmente ventiladas.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é demonstrar a utilidade do uso de isolantes térmicos em ambientes residenciais naturalmente ventilados com baixa carga térmica interna, para o clima da cidade de Florianópolis.

3. MÉTODO

Em primeiro lugar, é feita uma caracterização climática da cidade, com o intuito de uma maior compreensão sobre a mesma.

Posteriormente, é definido o modelo computacional para a simulação, onde são descritas as características geométricas, os materiais empregados, as cargas térmicas internas, o regime de ventilação e a composição da envoltória.

Chega-se aos resultados, apresentados ao final do trabalho, por meio de simulações computacionais no software EnergyPlus 8.1 com arquivo climático TRY da cidade de Florianópolis.

3.1. Caracterização climática de Florianópolis

Florianópolis, capital do estado de Santa Catarina, está localizada, segundo a NBR 15220, na zona bioclimática 3 (Figura 1).

Posicionada a sul do trópico de capricórnio, a cidade registra grande amplitude térmica anual, apresentando condições de calor durante o período de primavera e verão e condições de frio no período de outono e inverno.

Por se localizar próximo ao Oceano Atlântico, o município registra umidade relativa do ar acima de 40% durante quase todo o ano (Figura 2). Essa característica dificulta a ocorrência de grandes amplitudes térmicas diárias, tendo os meses de junho e julho, como os de maior variação de temperaturas diárias, devido às massas de ar seco, provenientes da região polar do hemisfério sul (Figura 3).

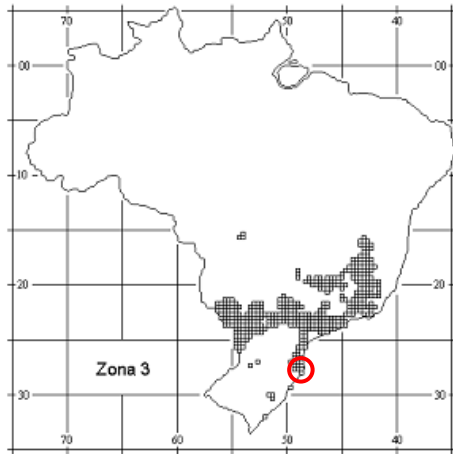


Figura 1 - Mapa do Brasil, em destaque a zona bioclimática 3 com a localização de Florianópolis, SC. Fonte: NBR15220 (ABNT, 2005b)

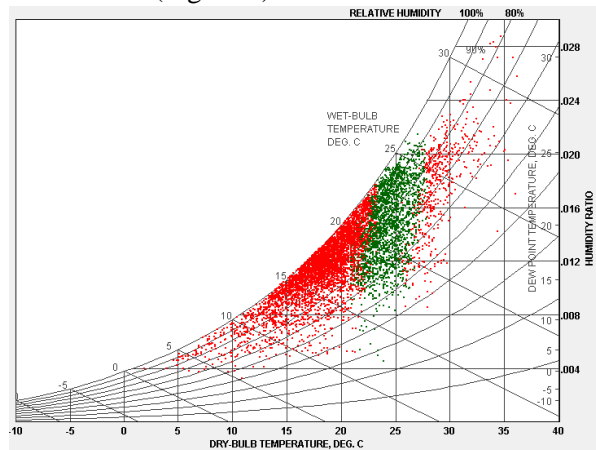


Figura 2 - Carta Psicrométrica com dados horários típicos de temperatura e umidade de Florianópolis. Pontos vermelhos: horas de desconforto. Pontos verdes: horas de conforto pelo modelo adaptativo. Fonte: Elaborado no software Climate Consultant 5.5 (UCLA, 2015) e por meio do arquivo EPW (GOULART, 1998).

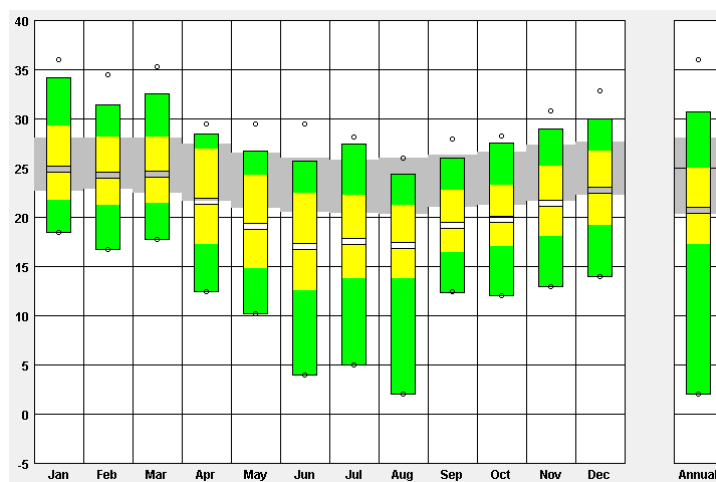


Figura 3 – Gráfico com temperaturas médias (vazio entre as barras amarelas), médias das máximas e médias das mínimas (limite superior e inferior das barras amarelas), máximas e mínimas mensais (limite superior e inferior das barras em verde) e área de conforto pelo modelo adaptativo (faixa cinza). Fonte: Elaborado no software Climate Consultant 5.5 (UCLA, 2015) e por meio do arquivo EPW (GOULART, 1998).

3.2. Definição do modelo computacional

Para este estudo adotou-se o software EnergyPlus 8.1 para a execução das simulações computacionais, no qual foram inseridos os dados da geometria, das cargas térmicas internas do modelo e seus padrões de operação, das propriedades dos materiais que a compõem, das rotinas e condições de ventilação natural e os dados climáticos do local no qual está inserido, com o intuito de comparar o desempenho térmico anual dos ambientes simulados apenas com a variação da envoltória, uma com e outra sem isolante térmico.

3.2.1. Geometria do modelo

O modelo adotado consiste em uma parcela de uma edificação residencial unifamiliar térrea (Figuras 4 e 5), sendo composta de dois dormitórios (zonas 1 e 3) e um hall (zona 2) de acesso aos mesmos. Ambos os dormitórios contêm janelas para o exterior da edificação de 1 m² de área, sendo essas dotadas de venezianas para sombreamento, sem impedir a ventilação. Junto ao hall, os ambientes apresentam portas que permitem a ventilação cruzada.

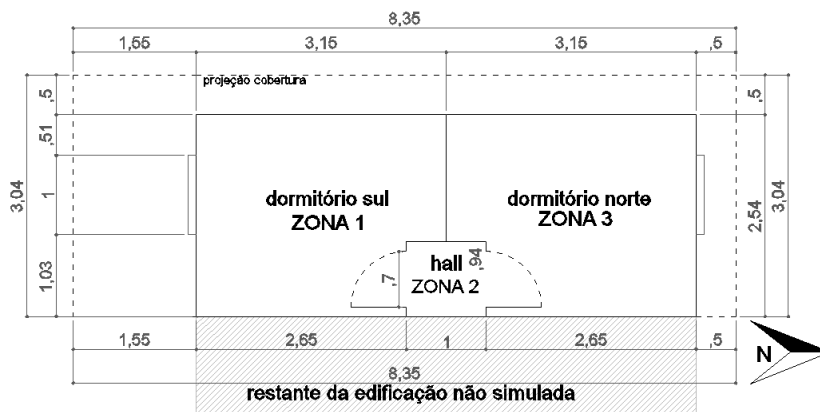


Figura 4 - Planta baixa da parcela da edificação simulada.

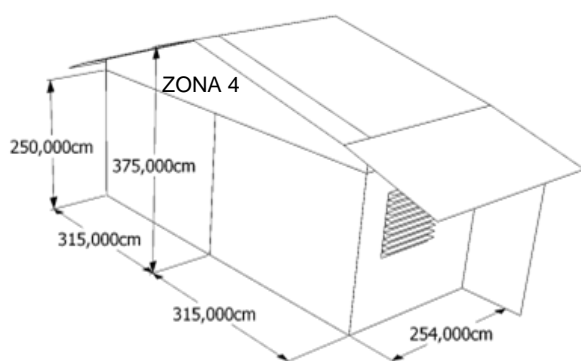


Figura 5 - Perspectiva da parcela da edificação simulada.

À leste da parcela estudada situa-se o restante da edificação, que não foi simulado. As paredes que estariam em contato com esses ambientes foram modeladas como adiabáticas (sem troca de calor através das mesmas), desconsiderando-se o efeito térmico dessas zonas.

Há, por fim, o ático (zona 4), entre o forro e o telhado, caracterizado como uma área sem carga térmica interna, sem ventilação, sem ocupação humana e preenchida somente de ar.

3.2.2. Cargas térmicas internas

Nas zonas 1 e 3 foram aplicadas cargas térmicas diárias referentes aos seus usos e ocupação (Tabela 1). No dormitório sul (zona 1) considerou-se a rotina de um estudante, que se ausenta no período matutino, permanece estudando no período vespertino e descansando no período noturno no interior do ambiente.

Já no dormitório norte (zona 3) adotou-se a rotina de um casal que se ausenta durante todo período diurno e descansa no interior do ambiente no período noturno. O hall (zona 2) foi considerado sem ocupação.

	Carga interna de calor	Watts
Zona 1	Uma pessoa dormindo das 22h00min às 07h00min	80
	Uma pessoa estudando das 14h00min às 22h00min	120
	Lâmpada acesa das 18h00min às 22h00min	15
Zona 2	-	-
Zona 3	Duas pessoas dormindo das 22h00min às 07h00min	160
	Lâmpada acesa das 20h00min às 22h00min.	15

Tabela 1 – Cargas internas de calor.

3.2.3. Regime de ventilação

De acordo com o uso e ocupação da edificação, assim como das condições climáticas, foram estabelecidos dois diferentes regimes de ventilação (Tabela 2). Durante o período mais quente do ano, no qual há uma grande necessidade de resfriamento, deu-se prioridade à ventilação noturna, a fim de tirar proveito da temperatura mais baixa.

Durante o período mais frio do ano, no qual há uma grande necessidade de aquecimento, optou-se pela ventilação diurna, com o intuito de aproveitar as temperaturas mais altas que ocorrem neste período do dia.

Tabela 2 - Regimes de ventilação: períodos do ano e porcentagem das esquadrias abertas.

23/09 à 20/04	Ventilação Noturna -100% das 20h00min às 22h00min; -50% das 22h00min às 07h00min.
20/04 à 23/09	Ventilação Diurna -100% das 10h00min às 16h00min;

3.2.4. Formatação da envoltória

Duas configurações de paredes externas foram avaliadas (Figura 6), uma composta por tijolo maciço e reboco de argamassa em ambas as faces, e a outra formada pelos mesmos materiais somados a uma camada de lã de vidro com 25 milímetros de espessura e uma placa de fibrocimento com 1 centímetro de espessura na face externa.

As paredes internas das edificações, compostas por tijolo maciço e argamassa, não sofreram alterações nos diferentes casos simulados.

O forro que separa os ambientes inferiores do ático foi avaliado sob duas configurações (Figura 7): uma composta por placa de gesso, e outra pelo mesmo material somado a uma camada superior de lã de vidro com 25 milímetros de espessura. A cobertura, composta de telha de fibrocimento, não sofreu alterações para avaliação.

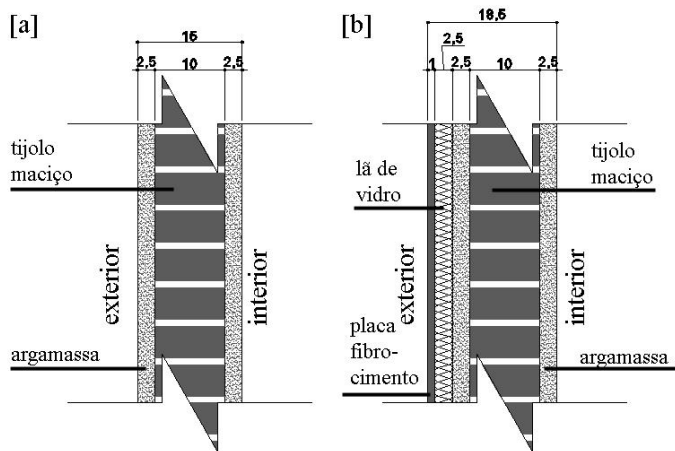


Figura 6 - Configurações de paredes externas avaliadas: [a] sem isolante térmico; [b] com isolante térmico.

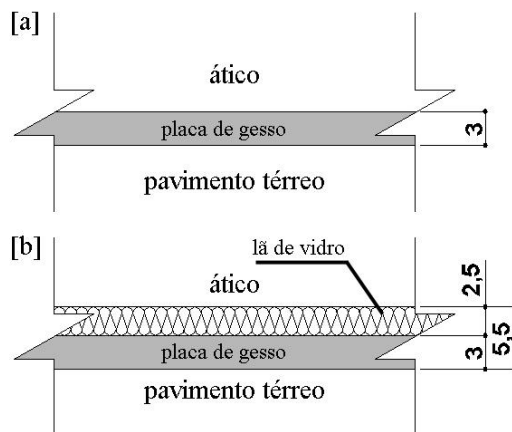


Figura 7 - Configurações de forros avaliados: [a] sem isolante térmico; [b] com isolante térmico.

3.2.5. Materiais construtivos

Para as simulações no software EnergyPlus 8.1 foram adotadas as características físicas de cada um dos materiais, utilizando-se como fontes de informação a NBR 15220-2 (ABNT, 2005a) e catálogos de fabricantes (Tabelas 3, 4 e 5). As telhas e placas de fibrocimento, a argamassa, a placa de gesso e a madeira foram consideradas pintadas de branco, com absorvância de 0,2.

Tabela 3 - Propriedades físicas do vidro empregado no modelo.

Material	Espessura (mm)	transmissão energética (%)	Reflexão energética externa (%)	Reflexão energética interna (%)	Absorção energética (%)	transmissão luminosa (%)	reflexão luminosa externa (%)	reflexão luminosa interna (%)	emissividade externa	emissividade interna	condutividade
Vidro CLEAR 12mm	12	70	6	6	15	86	8	8	0,84	0,84	1

Tabela 4 - Propriedades físicas dos materiais empregados no modelo.

Material	Condutividade Térmica [W/m.K]	Densidade [kg/m³]	Calor Específico [J/kg.K]	Absortância
Tijolo maciço	0,9	1600	920	0,8
Argamassa comum	1,15	2000	1000	0,2
Placa de fibrocimento	0,95	1800	840	0,2
Concreto	1,75	2200	1000	0,7
Telha de fibrocimento	0,95	1800	840	0,2
Placa de gesso	0,35	750	840	0,2
Madeira para portas	0,2	850	2300	0,2

3.2.6. Transferência de calor com o solo

Devido ao fato da edificação estudada ser térrea e em contato direto com o solo (Figura 8), a temperatura do mesmo influencia de forma considerável na temperatura dos ambientes, mesmo havendo uma laje de concreto os separando.

Para uma simulação mais precisa do comportamento térmico da edificação, foi utilizada a ferramenta *slab* no software EnergyPlus 8.1, com o intuito de gerar um perfil de temperatura mensal para o solo em contato com a laje do piso.

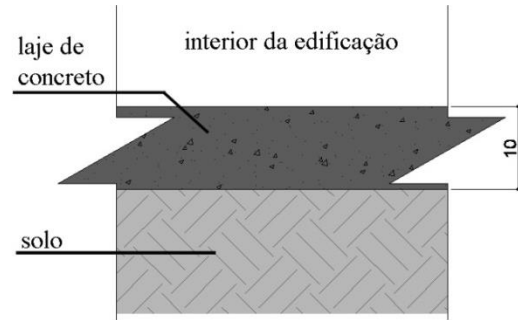


Figura 8 - Configuração da laje de piso no modelo.

Tabela 5 - Propriedades físicas do isolante térmico empregado no modelo.

Material	Resistência Térmica [m².K/W]
Lã de vidro - 25mm	0,625

3.2.7. Arquivo climático

Os dados climáticos referentes a Florianópolis, Santa Catarina, foram adotados na simulação por meio do arquivo do tipo TRY de extensão “.epw” proveniente da pesquisa de Goulart, Lamberts e Firmino (1998). Nesse arquivo são consideradas as condições climáticas de um ano típico para a localidade, que dessa forma, possibilita por meio da simulação, uma análise do comportamento térmico da edificação sob as mesmas condições.

3.3. Método de avaliação dos resultados

O desempenho térmico da envoltória da edificação simulada foi avaliado de duas formas: método graus-hora e perfil de temperatura horária em dias de pico de calor e de frio.

O método graus-hora compreende na somatória da diferença da temperatura horária acima e abaixo de uma temperatura base, dada pelas equações 1 e 2.

$$GH18 = \sum_{i=1}^{8760} 18 - T_{int} \quad (se \ T_{int} < 18^{\circ}C) \quad (1)$$

$$GH26 = \sum_{i=1}^{8760} T_{int} - 26 \quad (se \ T_{int} > 26^{\circ}C) \quad (2)$$

Onde:

GH18 são os graus-hora abaixo de 18°C [adimensional];

GH26 são os graus-hora acima de 26°C [adimensional];

T_{int} é a temperatura interna [°C].

As temperaturas bases foram adotadas de acordo com o padrão para aquecimento e resfriamento do RTQ-R (INMETRO, 2012), e dessa forma o modelo foi avaliado a partir da quantidade de horas com temperatura acima de 26°C e abaixo de 18°C, e o quanto os valores estão distantes dessas referências.

Posto isto, foram avaliados os seguintes parâmetros:

- Temperatura do ar interno;
- Temperatura operativa.

A análise do perfil de temperatura horária em dias de pico de calor e de frio é elaborado adotando-se as datas de 08 de janeiro, sendo este o dia que registra a maior temperatura, e a data de 06 de agosto, sendo

este o dia que registra a menor temperatura durante o ano típico, assim como os dois dias que os antecedem e os dois que os sucedem. Para esta análise é utilizado o comportamento térmico do dormitório sul (zona 1), por ser o ambiente exposto às condições mais críticas (maior incidência de radiação solar no verão e menor no inverno), sob os dois tipos de envoltória.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Temperatura do ar interno

Ao analisar as temperaturas do ar interno às zonas térmicas simuladas (Figuras 9 e 10), pôde-se notar que a presença de isolante térmico nas paredes externas auxiliou na diminuição da amplitude térmica diária e anual.

Na zona 1, compreendida pelo dormitório sul, houve uma redução de 31% no total de graus-hora abaixo de 18°C, e de 28% nos graus-hora acima de 26°C. Já na zona 3, compreendida pelo dormitório norte, houve uma redução de 35% nos graus-hora abaixo de 18°C e de 22% nos graus-hora acima de 26°C.

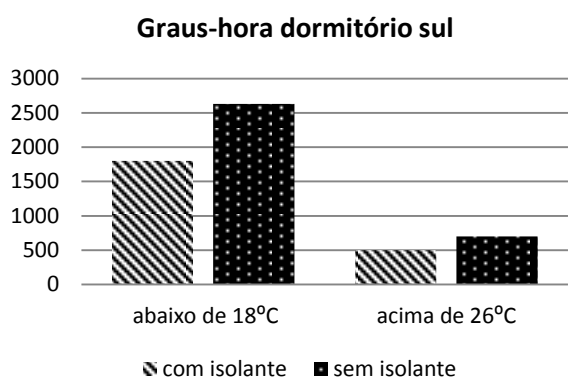


Figura 9 - GH18 e GH26 para a zona térmica 1.

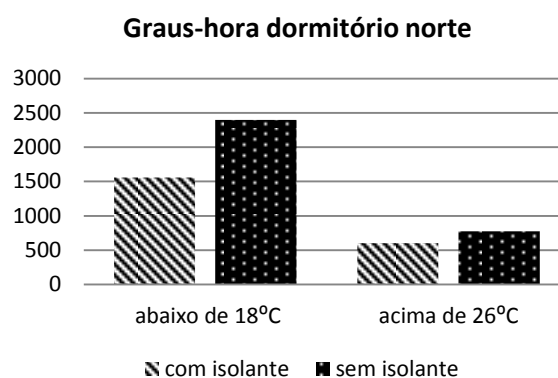


Figura 10 - GH18 e GH26 para a zona térmica 3.

As temperaturas do ar (Tar) registradas no interior do dormitório sul (Figuras 11 e 12), cujas envoltórias são compostas por alvenaria somada à lã de vidro, apresentam amplitudes térmicas diárias menores que as compostas somente por alvenaria, tanto para as condições de temperaturas mais altas do verão, quanto para as de temperaturas mais baixas do inverno.

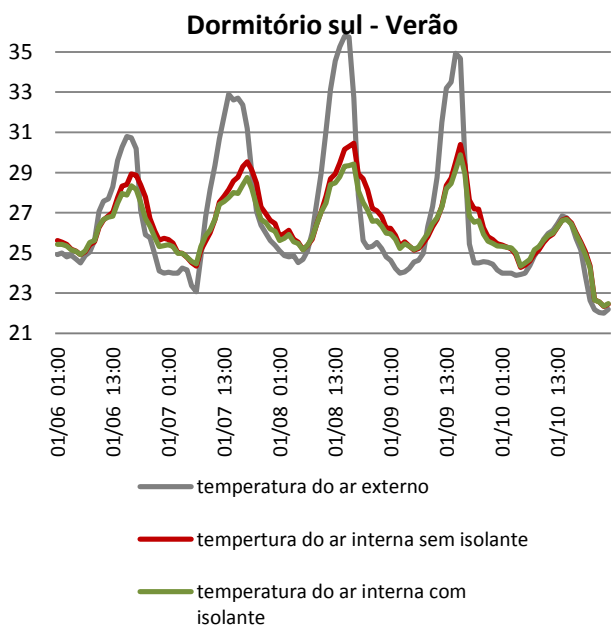


Figura 11 - Temperaturas do ar no interior do ambiente para os dias de pico de calor.

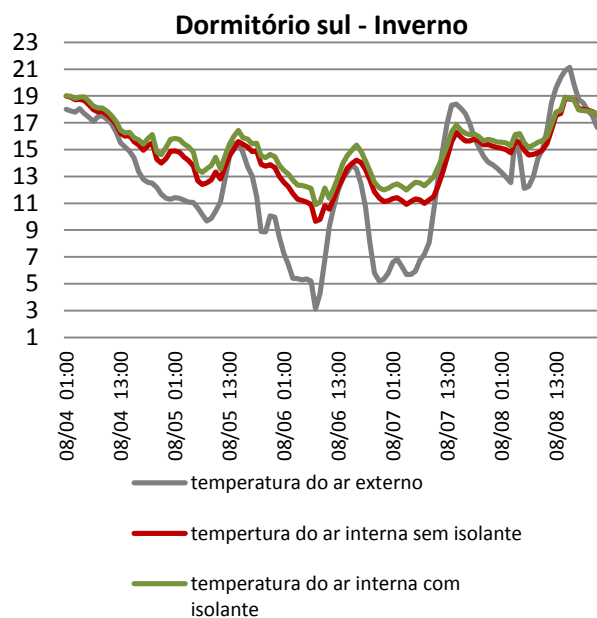


Figura 12 - Temperaturas do ar no interior do ambiente para os dias de pico de frio.

Durante o intervalo de dias que compreende de 06 a 10 de janeiro, em que é preferível a obtenção de menores temperaturas no interior do ambiente com relação ao exterior, o modelo cuja envoltória é composta

por alvenaria somada à lã de vidro apresenta temperatura mais baixas do que o mesmo com envoltória sem o elemento isolante. Essa configuração resultou em temperatura máxima do ar 0,85°C mais baixa do que a envoltória sem isolamento.

Os períodos matutinos, principalmente do dia 09 de janeiro, dia posterior ao dia mais quente do ano, são exceções. Esse fenômeno é ocasionado pelo fato de a lã de vidro dificultar a perda do calor acumulado no ambiente no dia anterior e durante a noite do mesmo dia, proveniente da ocupação humana no mesmo. Este é, portanto, um dos inconvenientes na utilização do material.

Durante o intervalo entre os dias 04 a 08 de agosto, em que é preferível a obtenção de temperaturas maiores no interior do ambiente em relação ao exterior, o modelo cuja envoltória é composta por alvenaria somada à lã de vidro apresenta temperaturas mais altas do que o ambiente sem o elemento isolante. Dessa forma, para esta condição climática, a incorporação do isolante térmico só se mostrou benéfica, e que no horário de pico de frio o isolante térmico ajudou a aumentar em 1,25°C a temperatura do ar se comparado ao envelope sem o material.

4.1. Temperatura operativa

Ao se analisar a temperatura operativa, que representa uma média entre a temperatura do ar e a radiante média de cada zona simulada, foi possível notar que os resultados (Figuras 13 e 14) no interior dos ambientes mostraram uma diminuição maior de graus-horas acima de 26°C e abaixo de 18°C para os casos no qual foi utilizado isolante térmico nas paredes externas.

No dormitório sul (zona 1) houve redução de 45% nos graus-hora abaixo de 18°C e de 47% nos graus-hora acima de 26°C. Já no dormitório norte houve redução de 48% de graus-hora abaixo de 18°C e de 41% de graus hora acima de 26°C.

A grande redução do número de graus-hora acima e abaixo das temperaturas operativas estipuladas, provocadas pela adoção do isolante térmico, se dá devido ao fato de este material criar uma barreira bastante eficaz à perda e ganho de calor por meio das vedações.

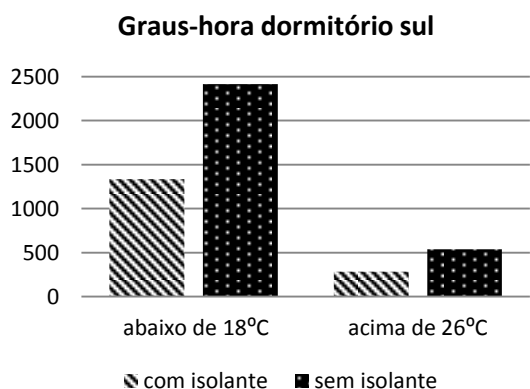


Figura 13 - GH18 e GH26 para o dormitório sul.

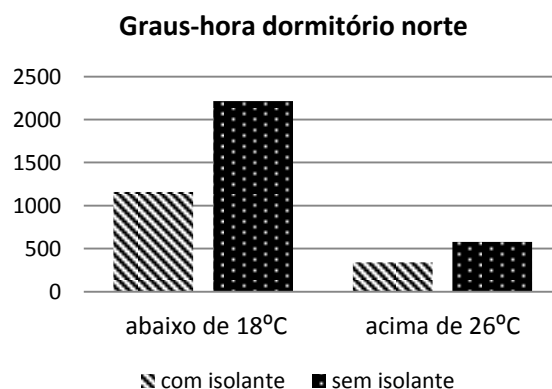


Figura 14 - GH18 e GH26 para o dormitório norte.

Assim como os resultados de temperatura do ar, onde atingiu-se amplitudes térmicas diárias menores com o uso de isolante do que as envoltórias compostas somente por alvenaria, tanto para as condições de temperaturas mais baixas, como para as de temperaturas mais altas, as temperaturas operativas registradas no interior dos ambientes (Figuras 15 e 16) cujas envoltórias são compostas por pela alvenaria somada à lã de vidro demonstram maior eficiência na redução de tais amplitudes.

No entanto, nesse caso, durante o intervalo de dias que compreende de 06 a 10 de janeiro, em que é preferível a obtenção de menores temperaturas no interior do ambiente com relação ao exterior, as configurações de envoltórias apresentaram uma diferença ainda maior. No horário de pico de calor o isolante térmico ajudou a reduzir em 1,09°C a temperatura operativa se comparado ao envelope sem o material.

Durante o intervalo de dias que compreende de 04 a 08 de agosto, em que é preferível a obtenção de maiores temperaturas no interior do ambiente com relação ao exterior, no horário de pico de frio o isolante térmico ajudou a aumentar em 1,8°C a temperatura operativa se comparado ao envelope sem o material.

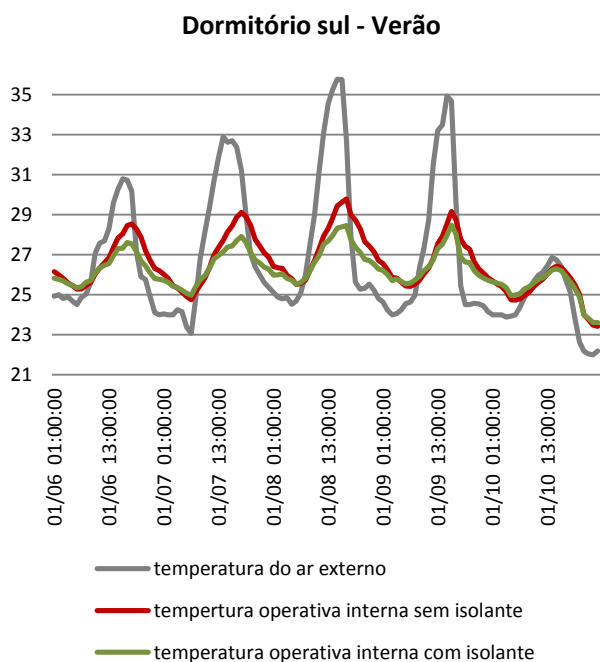


Figura 15 - Temperaturas do ar externo e operativas internas para os dias de pico de calor.

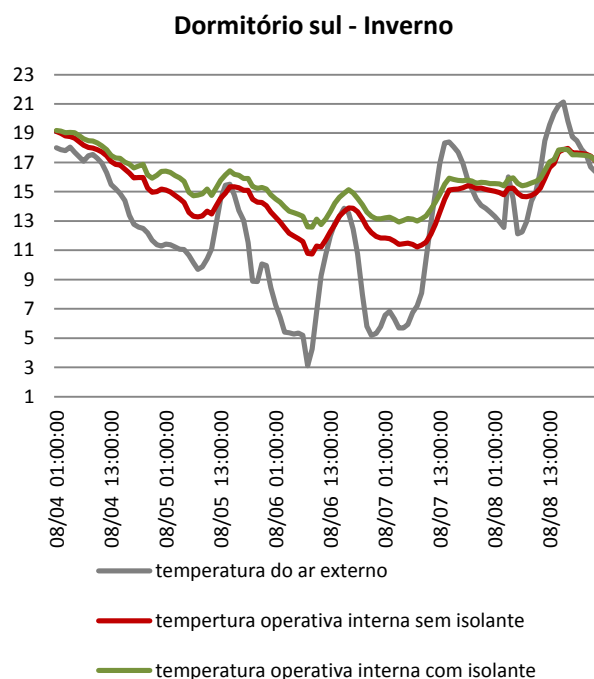


Figura 16 - Temperaturas do ar externo e operativas internas para os dias de pico de frio.

Desta forma é possível identificar que o uso de isolante térmico tem um maior impacto na temperatura operativa, do que na temperatura do ar (Tabela 6).

Tabela 6 – Comparativo de eficácia do uso de lã de vidro: diferença de temperatura entre a envoltória com e sem isolamento.

Variável	Verão (pico de calor)	Inverno (pico de frio)
Temperatura do ar [°C]	-0,85	+1,25
Temperatura operativa [°C]	-1,09	+1,80

5. CONCLUSÕES

Apesar do pouco uso de isolantes térmicos no Brasil, o presente estudo demonstrou por meio de simulações computacionais, que isolamento térmico de uma residência térrea de baixa carga térmica interna é capaz de prover ambientes com melhores condições térmicas para o clima da cidade de Florianópolis na maior parte do ano. Essa melhoria foi detectada no trabalho mesmo sob condições contrárias aos estudos e recomendações de normas brasileiras, tal como o uso de isolante térmico em edificações naturalmente ventiladas.

Ao reduzir o ganho e perda de calor por meio das vedações, o isolante térmico contribui para a diminuição da amplitude térmica e da ocorrência de temperaturas extremas no verão e no inverno no interior da edificação. Esse evento se dá, principalmente, na temperatura operativa, situação na qual é considerada a influência da radiação das vedações que compõem o ambiente. Ou seja, o benefício é maior na redução da temperatura radiante média, contribuindo para evitar desconforto causado por assimetria de radiação.

Mesmo que o uso da lã de vidro seja mais comum em sistemas construtivos leves, como o sistema de drywall, o material foi associado à alvenaria, sistema construtivo dotado de maior inércia térmica, o que possibilitou a obtenção dos resultados apresentados.

Outro importante aspecto foi evitar o posicionamento da lã de vidro no lado interno da parede de alvenaria e que, segundo Kolaitis et. al. (2013) e Asan (2000), seria o pior posicionamento para o mesmo quando associado a sistemas construtivos com certa inércia térmica.

É necessário também salientar que os resultados do estudo se aplicam apenas ao modelo simulado, e que quaisquer alterações das variáveis projetuais, como geometria, materiais, orientação, entre outras, ou variáveis de uso e ocupação, como as cargas térmicas internas, gerariam resultados diferentes, tendo a necessidade da realização de simulações para cada caso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDAWI, F.; ALAMA, F.; DATEA, A.; ALGHAMDIB, M.; ALDHAWIC, F. A new house wall system for residential buildings. **Energy and Buildings** 67, 2013. P. 403-418.
- ASAN, H. Investigation of wall's optimum insulation position from maximum time lag and minimum decrement factor point of view. **Energy and Buildings** 32, 2000. P. 197-203.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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, 2005a.
- _____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.
- BOJIĆ, M.; MILETIĆ, M.; BOJIĆ, L. Optimization of thermal insulation to achieve energy saving in low energy house (refurbishment). **Energy Conservation and Management** 84, 2014. P. 681-690.
- CHIRARATTANANON, S.; DUC HIENC, V.; TUMMUA, P. Thermal performance and cost effectiveness of wall insulation under Thai climate. **Energy and Buildings** 45, 2012. P. 82-90.
- DONGMEI, P.; MINGYIN, C.; SHIMING, D.; ZHONGPING, L. The effects of external wall insulation thickness on annual cooling and heating energy uses under different climates. **Applied Energy** 97, 2012. P.313-318.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Ministério de Minas e Energia. Anuário estatístico de energia elétrica 2014. Rio de Janeiro, 2014.
- FRIESS, W. A.; RAKHSHAN, K.; HENDAWI, T.A.; TAJERZADESH, S. Wall insulation measures for residential villas in Dubai: a case study in energy efficiency. **Energy and Buildings** 44, 2012. P. 26-32.
- GOULART, S. V. G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos de 14 cidades brasileiras para projeto e avaliação de sistemas de ar-condicionado**. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, 1998.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. Portaria n. 18. Eletrobrás, Rio de Janeiro, RJ, 2012.
- KOLAITIS, D. I.; MALLIOTAKIS, E.; KONTOGEORGOS, D. A.; MANDILARAS, I.; KATSOURINIS, D. I.; FOUNTI, M. A. Comparative assessment of internal and external thermal insulation systems for energy efficient retrofitting of residential buildings. **Energy and Buildings** 64, 2013. P. 123-131.
- KUMAR, A.; SUMAN, B. Experimental evaluation of insulation materials for walls and roofs and their impact on indoor thermal comfort under composite climate. **Energy and Buildings** 59, 2013. P. 635-643.
- NYERS, J.; KAJTAR, L.; TOMIĆ, S.; NYERS, A. Investment-savings method for energy-economic optimization of external wall thermal insulation thickness. **Energy and Buildings** 86, 2015. P. 268-274.
- UCLA. DEPARTMENT OF ARCHITECTURE AND URBAN DESIGN UNIVERSITY OF CALIFORNIA. **Climate Consultant 5.5**. Los Angeles: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/>>. ,2014
- ZHU, P.; HUCKEMANNA, V.; NORBERG, M. The optimum thickness and energy saving potential of external wall insulation in different climate zones of China. **Procedia Engineering** 21, 2011. P. 608-616.