XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

IMPACTO DO USO DE PAREDES SEMIENTERRADAS NO DESEMPENHO TERMOENERGETICO: ESTUDO DE CASO PARA A ZONA BIOCLIMÁTICA 7[1]

GUARDA, Emeli Lalesca Aparecida da Guarda (1); CALLEJAS, Ivan Julio Apolonio Callejas (2); DURANTE, Luciane Cleonice (3); APOLONIO, Raquel Moussalem (4); DOMINGOS, Renata Mansuelo Alves (5)

(1) Universidade Federal de Santa Catarina, emeliguarda@gmail.com
(2) Universidade Federal de Mato Grosso, ivancallejas1973@gmail.com
(3) Universidade Federal de Mato Grosso, Luciane.durante@hotmail.com
(4) Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa, raquelmoussalem@hotmail.com
(5) Universidade Federal de Santa Catarina, mansuelo.alves@gmail.com

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo analisar o impacto da aplicação de paredes semienterradas no desempenho termoenergético de uma habitação de interesse social localizada em clima de Savana, implantada em zona bioclimática ZB7. A metodologia consiste em simulações no software EnergyPlus, utilizando o input GroundDomain: Basement, avaliação da carga térmica pelo método de balanço térmico e indicador de graus-hora de resfriamentos, para o qual estabeleceram-se os valores de 29 e 22°C, para resfriamento e para aquecimento, respectivamente, definidos a partir da faixa de conforto térmico adaptativo. Observa-se que a incorporação da estratégia proporciona reduções na carga térmica para os quartos de até 45% e nos graus-hora de resfriamento de cerca de 13.5%, em relação à habitação convencional. Evidencia-se, assim, que a adoção de massa térmica para resfriamento resulta em impactos positivos no desempenho termoenergético de habitações localizadas na zona bioclimática ZB7.

Palavras-chave: *Massa térmica. Estratégia passiva Carga térmica de resfriamento. Clima de Savana*

ABSTRACT

This work aims to analyze the impact of the application of semi-buried walls on the thermoenergetic performance of housing of social interest located in a Savannah climate, implanted in a bioclimatic zone ZB7. The methodology consists of simulations in the EnergyPlus software, using the input GroundDomain: Basement, evaluation of the thermal load by the method of thermal balance and indicator of degrees hour of cooling, for which the values of 29 and 22°C were established, for cooling and heating, respectively, defined from the adaptive thermal comfort range. It is observed that the incorporation of the strategy provides reductions in the thermal load for the rooms of up to 45% and in the degrees-hour of cooling of about 17%, in relation to conventional housing. Thus, it is evident that the adoption of thermal mass for cooling results in positive impacts on the thermoenergetic performance of houses located in the bioclimatic zone ZB7.

Keywords*: Thermal mass. Passive strategy. Cooling thermal load. Savanna climate.*

---

[1]GUARDA, Emeli Lalesca Aparecida da Guarda; CALLEJAS, Ivan Julio Apolonio Callejas; DURANTE, Luciane Cleonice; APOLONIO, Raquel Moussalem; DOMINGOS, Renata Mansuelo Alves**.** Impacto do uso de paredes semienterradas no desempenho termoenergético: Estudo de caso para a zona bioclimática 7. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

Com o surgimento e disponibilização do acesso às tecnologias, como sistemas de ar condicionado, o planejamento de edificações considerando as questões bioclimáticas foi deixando de ser prioridade da arquitetura. Nessa relação do edifício com o clima, a envoltória exerce papel fundamental na definição das condições ambientais internas, pois os materiais e elementos construtivos se comportam em função de suas propriedades termofísicas mediante a ação do clima. Neste contexto, a inércia térmica torna-se uma importante característica dos fechamentos.

Em localidades com grande amplitude térmica, pode-se utilizar a inércia térmica dos fechamentos para acumular calor durante o dia, que é devolvido ao interior dos ambientes durante a noite. Diminui-se, assim, a amplitude térmica interna, que oscilará de forma amortecida (LAMBERTS et al., 2012). A massa térmica contribui para a redução da amplitude térmica interna e para a redução do uso de energia para aquecimento e arrefecimento (DUARTE, 2013). Para climas quentes, o efeito da inercia térmica devido a massa térmica das paredes externas na diminuição da amplitude térmica do interior cresce com a amplitude térmica do clima, enquanto que, soluções construtivas que utilizam materiais leves, como o gesso cartonado, diminuem de forma acentuada a capacidade da parede em armazenar calor.

Nesse contexto o uso do solo pode ser um grande aliado uma vez que ele pode ser considerado um grande depósito de energia. Sua habilidade de conter calor é tão eficiente que as variações de temperatura da superfície durante o dia são diminuídas com profundidade, muitas vezes suprimindo variações sazonais, dependendo do clima local e da constituição, tipo e cobertura do solo (BIASI; KRÜGER, 2019). Além disso, visa-se avaliar o desempenho dessa estratégia bioclimática passiva indicada na NBR 15220 (ABNT, 2005), uma vez que não tem sido observado a sua utilização em clima de Savana que apresenta elevadas temperaturas durante todo o ano que impacta no desempenho das edificações nela implantadas (DUARTE, 2000). Geralmente a temperatura do solo permanece constante após certa profundidade (DERRADJI; AICHE, 2014). Isso ocorre devido à inércia térmica, que é a capacidade do solo ou de um edifício de armazenar e liberar calor. O uso de inércia térmica no edifício aumenta o efeito do atraso térmico e atua na diminuição da amplitude da temperatura interior em relação ao exterior, evitando picos (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Desta maneira, com o intuito de contribuir com o conhecimento acerca do potencial da massa térmica para resfriamento no comportamento das edificações, este artigo tem por objetivo analisar o impacto da utilização de paredes semienterradas no desempenho termoenergético de uma habitação de interesse social localizada em clima de Savana, em região bioclimática ZB7. A contribuição desta pesquisa tem seus limites ampliados para além das questões energéticas, pois ao considerar os desníveis do terreno natural na implantação, extingue-se o movimento de terra, uma das ações que mais contabiliza impactos ambientais em uma construção.

2 MÉTODO

2.1 Caracterização do Estudo de Caso

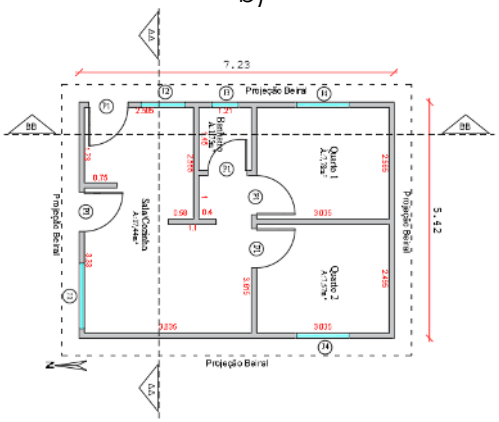
Tomou-se como objeto de estudo base uma habitação residencial unifamiliar padrão de interesse social (HISp) com 39,18m² e 34,54m² de área total e útil,

respectivamente, contendo os ambientes Sala/Cozinha (17,44m²), Quarto 1 (7,78m²), Quarto 2 (7,57m²) e Banheiro (1,75m²) (Figura 1a-b). A cobertura possui duas águas com beirais de 30 cm. O pé-direito é de 3,00m (Figura 1a-b). A edificação localiza-se na cidade de Cuiabá-MT, seu clima é do tipo tropical semiúmido (Aw na classificação Koppen-Geiger), caracterizado por temperaturas elevadas durante todo o ano, com média mensal variando de 25°C a 32°C (CALLEJAS, et al., 2019) e, se insere na Zona Bioclimática 7 para qual é indicada a diretriz construtiva de massa térmica para resfriamento (ABNT, 2005).

Figura 1 – a) Habitação de Interesse social e b) Planta baixa

a) b)





Fonte: Adaptado de Caixa Econômica Federal

As esquadrias dos quartos e sala são metálicas, do tipo veneziana e vidro, de correr com quatro folhas (duas fixas e duas móveis) e da cozinha do tipo basculantes, com dimensões de 1,50 x 1,00m (Sala), de 1,20 x 1,00m (Quarto 1 e 2) e de 1,00 x 1,00m (Cozinha). As portas externas são de chapa metálicas e, as internas, em madeira. Os fechamentos verticais (paredes) do objeto de estudo são em alvenaria de tijolos cerâmicos de seis furos revestidos em ambas as faces e o fechamento horizontal (cobertura) são de telha cerâmica sobre forro de Policloreto de Vinila (PVC). Para determinação das propriedades térmicas de materiais construtivos e as estratégias de projeto utilizou-se a NBR 15.220 (ABNT, 2005) (Tabela 1). A resistência térmica da câmara de ar é de 0,21 m²K/W, alta emissividade, espessura maior que 0,05m.

Tabela 1 – Propriedades termofísicas dos materiais construtivos da habitação

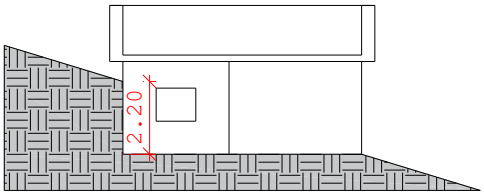
Envoltória	Composição	Espessura (m)	α	c (J/KgK)	γ (W/m²K)	ρ (Kg/m³)	
Parede externa e interna	Argamassa externa	0,025	0,3	1000	1,15	1800	
	Tijolo Cerâmico	0,09	0,85	920	1,05	1600	
	Argamassa interna	0,025	0,30	1000	1,15	1800	
Cobertura	Telha Cerâmica	0,01	0,85	920	1,05	1600	
	Forro de PVC	0,01	0,30	960	1,20	1300	

Fonte: NBR 15.220 (ABNT, 2005)

Com o intuito de verificar a estratégia de inercia térmica por meio de enterramento (contato com o solo) dos conjuntos habitacionais, inseriu-se na HISp, o contato com o solo das paredes externas (Figura 2), que não contém aberturas, dos ambientes quarto 1 e 2, na altura de 2,20m e denominou-se essa estratégia como "HISe", para as quatro orientações de fachadas (Figura 3). Vislumbra-se com essa estratégia aproveitar a inclinação dos terrenos naturais e disponibilizar uma estratégia

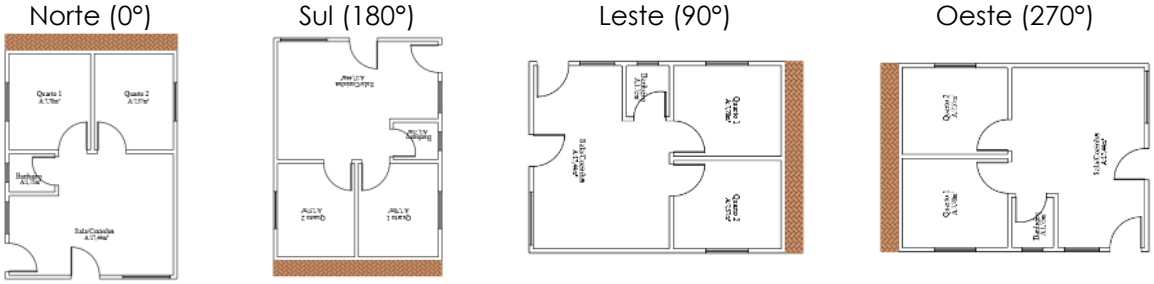
bioclimática passiva para os ambientes que usualmente utilizam-se das ativas para condicionamento térmico na região da pesquisa.

Figura 2 – Representação Esquemática do enterramento das paredes dos quartos



Fonte: Os autores

Figura 3 – Planta baixa da edificação com indicação do posicionamento na fachada da estratégia por orientação



Fonte: Os autores

2.2 Métodos de simulação no EnergyPlus

Para simular o desempenho térmoenergetico proporcionado pela estratégia bioclimática adotada nesta pesquisa, utilizou-se software EnergyPlus, versão 8.7 (DOE, 2016) a partir da utilização do *input* GroundDomain: Basement (GDomain), pelo qual o programa calcula a temperatura da interface entre o solo, as paredes e a laje dos ambientes subterrâneos da edificação, obtida de forma tridimensional pelas simulações (RESENDE, SOUZA e GOMES, 2019). Desta forma, as simulações do GDomain, foram realizadas por meio dos modelos de temperatura chamado "Finite Difference", o qual utiliza de uma modelo em diferenças finitas para obter a transferência do calor no solo. Utilizou-se como referência para as variáveis de entrada (input) do Ground Domain o manual elaborado por Mazzafero, Melo e Lamberts (2015), adaptando-se os valores das variáveis para a região do estudo que foram obtidos a partir da pesquisa desenvolvida pro Cordeiro et al. (2020), bem como os dados considerando no GDomain.

Tabela 2 – Dados de entrada para a simulação do GDomain

Campos de Entrada	Valores Adotados
Ground Domain Depth (m)	15
Soil Thermal Condutivity (W/m.K)	0,52 (Cordeiro, 2020)
Soil Density (kg/m³)	1.700 (Cordeiro, 2020)
Soil Specific Heat (J/kg.K)	840 (Cordeiro, 2020)
Mesh Density Parameter	6

Fonte: Os autores e adaptado e Cordeiro, 2020

O Ground Domain necessita dos valores mensais da temperatura do solo, que neste estudo foram derivados por meio do input Slab, as quais foram validadas por Rios (2015) (Tabela 3).

Tabela 3 – Temperatura do solo da região de estudo

Mês	Temperatura do Solo (°C)	Mês	Temperatura do Solo (°C)

Janeiro	27,94	Julho	24,35
Fevereiro	27,76	Agosto	26,38
Março	27,73	Setembro	27,36
Abril	26,78	Outubro	28,36
Maio	26,10	Novembro	27,83
Junho	25,67	Dezembro	28,21

Fonte: Rios (2015)

Os padrões de ocupação e ganhos internos foram tomados do RTQ-R (INMETRO, 2012), sendo 2 pessoas nos quartos e 4 pessoas na sala, com atividade metabólica de 60W/m² na sala e de 45W/m² nos quartos. A densidade de potência de iluminação é de 5,0W/m² para sala e de 6,0W/m² para quartos. Os horários de ocupação nos quartos e salas são para dias de semana das 21h às 08h e 21h às 10h e, para finais de semana, de 14h às 21h e 11h às 21h, respectivamente.

2.3 Estimativa de Carga Térmica conforme Método de Balanço Térmico

O balanço térmico é decorrente da magnitude da carga interna e das trocas de calor pelos fechamentos horizontais e verticais. Essas cargas são decorrentes de ganhos de calor por fontes internas, tais como iluminação, pessoas, equipamentos, condicionamento artificial (HVAC), ventilação e infiltrações e, por fontes externas, tais como, transferência de calor através da envoltória (ASHRAE, 2013).

Para tal fim, utilizou-se "Input Output Reference e Engineering Reference" do programa EnergyPlus (versão 8.7) por meio do qual o balanço térmico foi quantificado considerando a demanda da carga de resfriamento e aquecimento, por meio de um sistema de condicionamento de ar ideal (HVACTemplate: Zone: IdealLoadAirSystem), denominado de purchased air, uma vez que esse sistema estima a quantidade de carga térmica ideal necessária para manter o equilíbrio térmico no interior dos ambientes da edificação, corroborando com Melo e Lamberts (2008). Considerou-se nesta pesquisa apenas os ambientes de permanência prolongado dos quartos com parede enterrada, uma vez que não se notou influência da massa térmica nos demais ambientes da edificação.

Quantificou-se os valores a carga térmica total para resfriamento e aquecimento dos ambientes de permanência prolongada (em kWh), por meio do Output: Zone Ideal Loads Zone Total Colling Energy, considerando iluminação, equipamentos, infiltração e energia requerida de condicionamento artificial (HVAC). Para isso, torna-se necessário definir o Input do HVACTemplate: Thermostat, admitindo-se os valores para resfriamento de 29,26°C e para aquecimento de 22,54°C, sendo a faixa de conforto estabelecida por meio da aplicação da metodologia de De Dear e Brager (1997) para a região de Cuiabá-MT (Guarda et al. 2019). Para a quantificação dessas cargas, considerou-se o período de funcionamento do sistema de HVAC é das 21h às 8h. Para os demais períodos (9h às 20h), admitiu-se a habitação Naturalmente Ventilada (NV) (INMETRO, 2012).

2.4 Estimativa de Graus Horas de Resfriamento - Método do RTQ-R

Calculou-se o indicador de graus horas para cada ambiente de permanência prolongada. O software EnergyPlus calcula a temperatura operativa de cada ambiente em °C. Portanto, para obter o indicador o RTQ-R (INMETRO, 2012), realiza-se o somatório da diferença entre a temperatura operativa horária (T_o) e a temperatura base (T_b) (adotada de 26°C). O Equivalente Numérico da Envoltória, é obtido por meio da ponderação do EqNumEnvAmbResfriamento pela área útil de cada ambiente de permanecia prolongada, para a ZB7, isto varia do nível A (GHR ≤

12.566) ao E (GHR > 30.735). Para o conjunto de simulações, consideram-se as 8.760 horas (representando o ano), ocupação e fontes internas de calor (INMETRO, 2012).

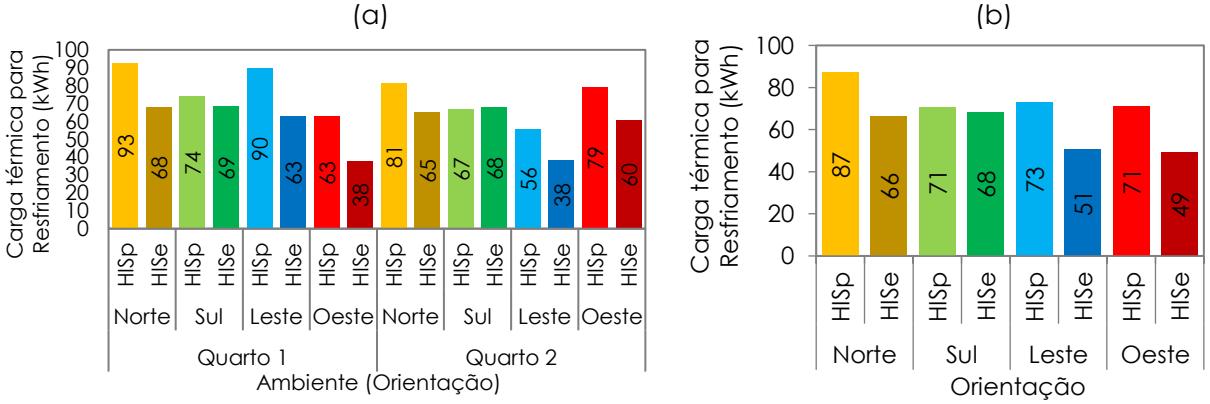
3 RESULTADOS

3.1 Demanda de Carga Térmica conforme Método de Balanço Térmico

As cargas térmicas das duas tipologias foram quantificadas por meio do somatório da carga térmica para resfriamento para os quartos, desconsiderando-se os demais ambientes pelo fato da estratégia ter pouco influenciado o comportamento nos demais ambientes. Não há cargas de aquecimento uma vez que a região não apresenta uma estação de inverno bem definida, ocorrendo quedas nas temperaturas somente quando ocorre a entrada de frentes frias. Destaca-se que, os valores de carga térmica se referem a quantidade de energia necessária para resfriamento, não sendo, portanto, o consumo real de um sistema de condicionamento ativo.

A demanda de carga térmica anual para cada orientação da fachada principal da edificação tanto para a HISp quanto para HISe podem ser visualizadas na Figura 4a. Nota-se que a incorporação da estratégia de massa térmica na edificação proporciona redução no consumo energético para os quartos 1 e 2 em todas as orientações, exceção ocorre para quarto 2 para a orientação sul, onde se observa pequena elevação. Para a HISp, a maior demanda média consolidada anual para os quartos é observado para a orientação da fachada principal voltada para norte e, o menor, voltada para a sul (redução de 24,3%), mas com pouca diferença encontrada para a oeste (Figura 4b). A HISe não segue o mesmo padrão observado para HISp, com a maior demanda de carga térmica sendo observado para a fachada voltada para sul, e o menor para a voltada para oeste (redução de 39%).

Figura 4 – (a) Carga térmica média mensal e (b) consumo consolidado



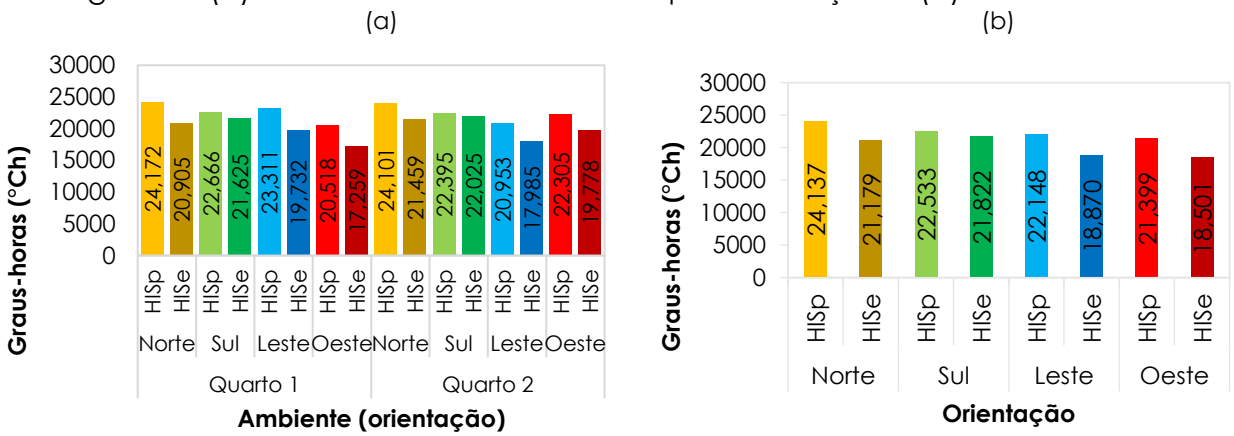
Fonte: Os autores

Constata-se que a recomendação de projeto para a orientação da fachada em edifícios com estratégia de massa térmica deve seguir recomendação diferente daquela observada para edifícios sem a sua utilização. Com exceção da orientação da fachada voltada para sul, onde a redução é inexpressiva e, portanto, não se recomendando a incorporação da estratégia de massa térmica, nas demais orientações observa-se redução expressiva, variando entre 31 a 45%.

3.2 Graus Horas de Resfriamento conforme Método do RTQ-R (INMETRO, 2012)

Assim como o consumo energético anual, os graus-horas de resfriamento sofreram redução tanto no quarto 1 quanto no 2 em todas as orientações pesquisadas (Figura 5a). Ao se analisar as quatro fachadas para estes ambientes, observa-se que tipologias pesquisadas obtiveram graus-horas de Resfriamento inferiores que 24.679°Ch, classificando-as, portanto, como nível "C". Para a HISp, o menor GHR é observado para a orientação da fachada principal voltada para oeste (21.399°Ch) e, o pior, voltada para a norte (24.137°Ch)(Figura 5b); na HISe observa-se melhor desempenho para a fachada voltada para oeste (18.501°Ch), e o pior, para a voltada para sul (21.822°Ch).

Figura 5 – (a) Graus Hora de Resfriamento por orientação e (b) consolidado



Fonte: Os autores

Observa-se que, as orientações são diferentes daquelas indicadas para se obter o melhor desempenho em termos de consumo de energia. Este comportamento ocorre em função da orientação das aberturas para ventilação em relação aos ventos dominantes, uma vez que o desempenho dos graus-horas é fortemente influenciado pela disponibilidade e ocorrência de ventilação cruzada dentro da edificação. Com exceção da orientação da fachada voltada para sul, onde a redução é inexpressiva e, portanto, não se recomendando a incorporação da estratégia de massa térmica, nas demais orientações observa-se redução nos graus-horas de resfriamento, porém a redução é menos expressiva do que aquela observada para o consumo energético, variando entre 13 a 16%.

4 CONCLUSÃO

O impacto na demanda de carga térmica foi mais expressivo do que no térmico, em virtude de este não depender das trocas térmicas proporcionadas pela ventilação cruzada que ocorre no interior dos ambientes de permanências prolongadas que são dependentes da orientação destas em relação aos ventos dominantes em cada região de implantação. Em virtude disso, a redução da carga térmica variou entre 31 a 45%, com melhor desempenho alcançado quando a orientação da fachada principal da edificação foi posicionada na direção oeste (redução de 39% em relação à edificação padrão). Por outro lado, os graus-horas de resfriamento sofreram reduções menos expressivas, variando entre 13 a 16%, também com melhor desempenho sendo observado para a fachada principal orientada a oeste (redução de 13.5% em relação à edificação padrão). Comprova-se, portanto, que esta estratégia de massa térmica é uma alternativa tecnicamente viável para ser utilizada na região visando melhorar tanto o desempenho térmico quanto

energético da edificação. Para sua definição de implementação, recomenda-se que seja conduzido um estudo preliminar que indique o melhor posicionamento para implantação da estratégia de massa térmica nos ambientes da edificação.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220.** Desempenho térmico em edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ASHRAE AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **Standard 55** - Thermal environmental conditions for human occupancy, Atlanta, 2013.

BIASE, J. A; KRUGER, E. L. **Estudo do desempenho térmico de células-teste enterrada e semienterrada**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, v. 10, p. e019023, 30 maio 2019. DOI: https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8653908

CALLEJAS, I. J. A; BIUDES, M. S;. MACHADO, N. G; DURANTE, L. C; LOBO, F. A. **Patterns Of Energy Exchange For Tropical Urban And Rural Ecosystems Located In Brazil Central**. Journal of Urban and Environmental Engineering, v.13, n.1, p.69-79, 2019.

CORDEIRO, C. C. M; Brandão, D. ; Durante, L. C; Callejas, I. J. A; Campos, C. A. B. **Caracterização termofísica de solo laterítico para produção de taipa**. Matéria (Rio J.), v. 25, n. 1, e-12564, 2020.

DE DEAR, R; BRAGER, G; COOPER, D. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference – Final Report on ASHRAE RP 884**. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers. Atlanta, 1997.

DERRADJI, M.; AICHE, M. **Modeling the soil surface temperature for natural cooling of buildings in hot climates**. Procedia Computer Science, v. 32, p. 615–621. 2014. DOI:https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.05.468.

DOE. Department of Energy (2016). **EnergyPlu**s. Disponível em: <https://energyplus.net.> Acesso em: 13 maio. 2020.

DUARTE, D. H. S. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continet**al. Tese, f.296 (Doutorado)e l, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

Duarte, F.M.S.R.F. 2013. **Contributo para o estudo de um patamar mínimo de inércia térmica em edifícios em reabilitação**. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013

GUARDA, E. L. A; DURANTE, L. C; GABRIEL, E; DOMINGOS, R. M. A; MIZGIER, M. O; CALLEJAS, I. J. A. **Influência do isolamento térmico de coberturas frente aos imapctos das mudanças climáticas**. Anais… XV Encontro Nacional de Conforto Térmico (ENCAC), 2019.

INMETRO INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Requisitos técnicos da qualidade para nível de eficiência energética de edifícios residenciais**, 2012.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3.ed. Rio de Janeiro, 2014.

MAZZAFERRO, L; MELO, A. P; LAMBERTS, R. **Manual de simulação computacional de edificios com o uso do objeto ground domain no programa EnergyPlus**. LABEEE, UFSC, 2015.

MELO, A. P; LAMBERTS, R. **O método do balanço térmico através da simulação do programa EnergyPlus**. LABEEE, UFSC, 2018.

RESENDE, B. C; SOUZA, H. A; GOMES, A. P. **Modelagem da transferência de calor de ambientes subterrâneos no programa de simulação EnergyPlus**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 161-180, jan./mar. 2019. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

RIOS, G. A. A. **Desempenho termoenergético de habitação de interesse social**. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2015.