ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO SOLO NO DESEMPENHO TÉRMICO DE AMBIENTES SUBTERRÂNEOS EM UMA EDIFICAÇÃO TÉRREA[1]

BRUNA, C. R., Universidade Federal de Ouro Preto, email: brunacresende@yahoo.com.br;
SOUZA, H. A., Universidade Federal de Ouro Preto, email: henorster@gmail.com;
GOMES, A. P., Instituto Federal de Minas Gerais - Campus Ouro Preto, email: adriano.gomes@ifmg.edu.br;
CRISTELI, P. S., Universidade Federal de Ouro Preto, email: paycristeli@hotmail.com

ABSTRACT

Among the several factors that interfere with the thermal performance of buildings, soil temperature is not always considered in thermal performance evaluations. One of the main factors contributing to this scenario is the high complexity of soil consideration in thermal performance analyzes, mainly due to the three-dimensional and transient character of the heat exchange processes involving the soil and the underground walls of a building. However, soil temperature is a factor that influences the final result of heat exchanges in the environment, especially in ground-level buildings. Thus, this work evaluates the soil influence as an active medium in the thermal performance evaluation, adopting as a computational tool the Basement preprocessor of the EnergyPlus software. By using this preprocessor it is possible to analyze the soil influence from the data generated by the program in relation to internal temperatures and losses and heat gains of the environment. Results suggest that when the soil influence is neglected in the thermal analyzes the internal temperature of subterranean rooms increases up to 7.3 °C when compared to the situation where the soil influence is considered.

Keywords*: Thermal performance. EnergyPlus. Basement preprocessor.*

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o usual baixo desempenho térmico de edificações residenciais tem sido causa do aumento de consumo de energia, devido ao consequente uso de condicionamento artificial para se obter o conforto nos ambientes (FERREIRA, 2016). Em 2015, devido às condições hidrológicas desfavoráveis, houve uma redução de 3,2 % da energia hidráulica disponibilizada ao passo que o consumo final de eletricidade no país registrou uma queda de 1,8 %, sendo que a redução de energia gasta no setor residencial alcançou apenas 0,7 % (BRASIL, 2016). Já em 2016, a geração de energia elétrica no Brasil chegou a ser 0,4 % inferior ao resultado de 2015 (BRASIL, 2017). Tais dados, dentre outras medidas, aponta para a urgência do uso racional de energia em edifícios. Consequentemente, padrões de energia mais rígidos estão aumentando os requisitos de modelagem de edifícios como um meio de avaliar projetos e medidas de conservação de energia.

Com o aprimoramento das técnicas de construção nos pavimentos superiores de uma edificação, a transferência de calor através do fechamento subterrâneo torna-se uma fração mais significativa da perda de calor e do

[1] BRUNA, C. R., SOUZA, H. A., GOMES, A. P., CRISTELI, P. S. Análise da influência do solo no desempenho térmico de ambientes subterrâneos em um edificação térrea. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

consumo de energia total da edificação (CLEMENTS, 2004). Krarti (1999) verifica que a análise da transferência de calor envolvendo o solo tem um efeito significativo nas avaliações de desempenho térmico de edificações familiares e comerciais térreas, chegando a contribuir em até 30 % do total das cargas de aquecimento e arrefecimento da edificação. Mais recentemente, Costa, Roriz e Chvatal (2017) analisam a modelagem da transferência de calor da laje de piso e a influência de alguns parâmetros do solo no desempenho térmico de uma edificação térrea naturalmente ventilada, localizada em São Carlos, Brasil. As propriedades termofísicas do solo são os dados que mais influenciaram nos resultados. Comparando-se a um solo com o nível de umidade intermediário, a edificação em estudo ficou 57,5 % menos desconfortável para o solo seco e 25 % mais desconfortável para o solo úmido.

Dentro deste contexto, se insere este trabalho, cujo objetivo é analisar a influência do solo nas trocas de calor entre o solo, o piso e as paredes de um ambiente subterrâneo em uma edificação unifamiliar, não condicionada artificialmente e não isolada termicamente, para climas variados do Brasil. Para tal, as análises da influência da interação do solo com a edificação são realizadas por meio do método de simulação da norma NBR 15.575 (ABNT, 2013), com a avaliação de dias típicos de projeto de verão e de inverno. Além disso, a ferramenta computacional adotada nas análises de desempenho térmico é o pré-processador *Basement* do software *EnergyPlus* (DEPARTMENT..., 2016).

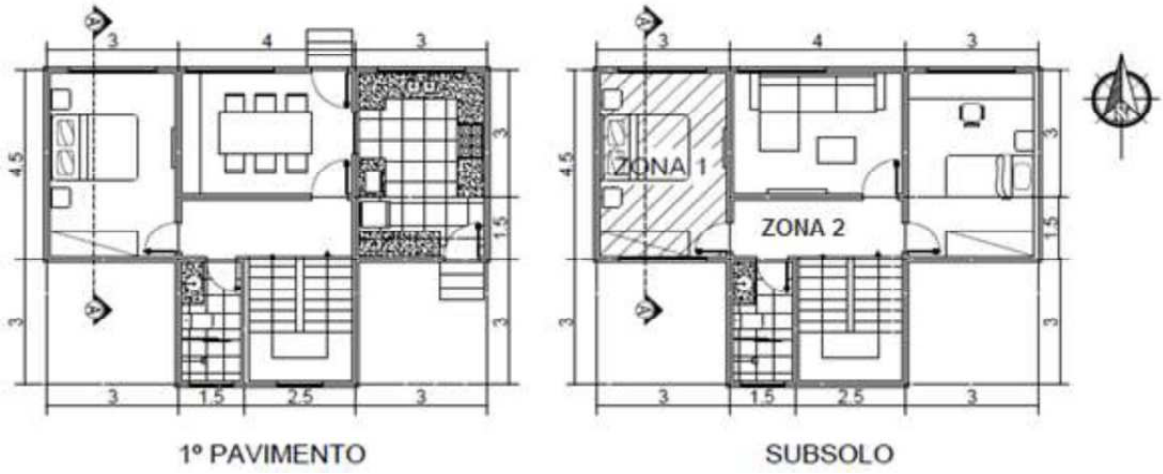
2 METODOLOGIA

A metodologia adotada no desenvolvimento deste trabalho envolve uma abordagem numérica para avaliação do processo de transferência de calor através do piso e paredes subterrâneos numa residência unifamiliar, naturalmente ventilada e não isolada, via *EnergyPlus* (versão 8.6.0). Neste estudo, as análises de desempenho térmico da edificação modelo são consideradas para duas situações distintas: desconsiderando a influência do solo e considerando a influência de um solo argiloso seco.

2.1 Modelo analisado

O objeto de estudo deste trabalho é uma edificação unifamiliar de dois pavimentos e com 114m² de área total. Os ambientes analisados na pesquisa são: um dormitório (Zona 1 - Z1) pertencente ao ambiente subterrâneo e a Zona 2 (Z2) situada na região central do cômodo subterrâneo da edificação (Figura 1). Ambos os pavimentos possuem 3m de pé-direito, sendo que o subsolo possui 2,3m de parede sob o solo (Figura 2).

Figura 1: Planta baixa esquemática do objeto de estudo



Fonte: Os autores

Figura 2: Detalhes construtivos da edificação



Fonte: Os autores

O sistema de fechamento interno e externo da edificação possui as características mencionadas na Tabela 1. Já as propriedades termofísicas dos materiais utilizados no sistema de fechamento da edificação e do solo são especificadas na Tabela 2.

Tabela 1: Composição dos sistemas de fechamento da edificação

Fechamento	Composição
Paredes do porão	Argamassa+Tijolo+Argamassa
Paredes do pavimento superior	
Piso do porão	Laje de Concreto+Argamassa+Piso Cerâmico
Piso do pavimento superior	Argamassa+Laje de Concreto+Argamassa+Piso Cerâmico
Teto do pavimento superior	Argamassa+Laje de Concreto+Forro de Madeira
Telhado	Telha Cerâmica
Janelas	Vidro refletivo de 6mm de espessura
Portas	Compensado
Cobertura do Solo	Grama Curta

Fonte: Os autores

Tabela 2: Propriedades Termofísicas dos materiais

Material		Propriedades Termofísicas

	Espessura (cm)	k (W/mk)	ρ (kg/m³)	c_p (J/kgk)
Argamassa	*2,5*	1,15	2000	1000
Tijolo	*10*	0,9	1600	920
Concreto Laje	*10*	1,75	2400	1000
Piso Cerâmico	*1,5*	1,05	2000	920
Forro de Madeira	*1*	0,2	1400	100
Telha Cerâmica	*1*	1,05	2000	920
Portas de Compensado	*3,5*	0,15	550	2300
Solo Argiloso Seco	-	0,25	2000	1550

Fonte: NBR 15.220 (ABNT, 2005); OKE (1995)

2.2 Clima

Para a realização das simulações computacionais são escolhidas as cidades de São Paulo, Curitiba e Salvador que apresentam diferentes quantidades de graus-hora de resfriamento e aquecimento. As avaliações de desempenho térmico da edificação são realizadas para um dia típico de projeto, de verão e de inverno, segundo diretrizes da norma 15.575 (ABNT, 2013).

2.3 Métodos de simulação no *EnergyPlus*

Neste artigo, dois modos de simulação são executados:

1) inserindo as temperaturas médias mensais do solo no objeto *GroundTemperature:BuildingSurface*.
2) utilizando o objeto *Detailed Ground Heat Transfer* por meio do pré-processador *Basement*.

O procedimento (1) é adotado para a simulação numérica onde a influência do solo não é considerada. Este método de simulação trata-se de uma forma simplificada onde os dados sobre a temperatura do solo são geralmente obtidos pelos arquivos climáticos e inseridos manualmente no programa. Contudo, estes dados não representam a situação real do solo no local analisado, pois a temperatura do solo sofre a variação de diversos fatores como as propriedades termofísicas do solo, a quantidade de água presente em seus vazios, a profundidade da edificação e as condições de cobertura ao entorno da edificação. Já o procedimento (2) é utilizado nas simulações numéricas onde a influência do solo é levada em consideração. Neste método, o programa calcula tridimensionalmente a temperatura da interface entre o solo, as paredes e a laje dos ambientes subterrâneos da edificação, que, posteriormente, é utilizada como dados de entrada para o *EnergyPlus* prosseguir com o restante da simulação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresentam-se, na Tabela 3, os resultados de temperaturas máximas, obtidas para a análise de um dia típico de verão, e de temperatura mínimas internas, obtidas para um dia típico de inverno, para as três cidades testadas.

Tabela 3: Condições máximas e mínimas de temperatura interna

Verão (° C)			
Cidade	T_e[1],máxima	Desconsiderando o solo (Z1/Z2)	Considerando o solo (Z1/Z2)
São Paulo	31,9	24,3/24,3	25,8/25,6
Curitiba	31,4	23,4/23,4	25,5/25,7
Salvador	31,6	27,1/27,1	26,5/26,6
Inverno (° C)			
Cidade	*T_e, mínima*	Desconsiderando o solo (Z1/Z2)	Considerando o solo (Z1/Z2)
São Paulo	6,7	15,3/15,3	14,1/14,2
Curitiba	5,1	16,9/16,9	15,6/17,8
Salvador	20	22,0/22,0	18,1/19,0

Nota: [1]T_e representa a temperatura do ar externa.

Fonte: Os autores

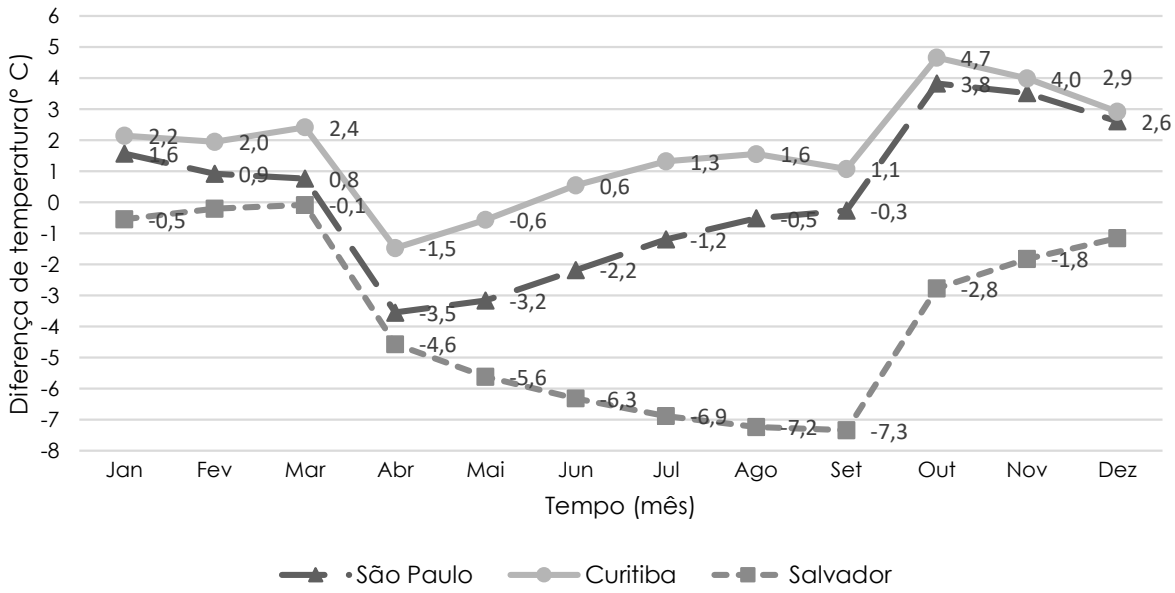
Para as cidades de São Paulo e Curitiba é possível verificar que, no verão, as maiores temperaturas são obtidas na análise onde a influência do solo é considerada, chegando a alcançar até 7,0 % para a cidade de São Paulo e 9,8 % para a cidade de Curitiba quando comparada a situação onde o solo é negligenciado. Já a cidade de Salvador apresenta a temperatura desconsiderando-se a influência do solo até 2,2 % mais elevada do que a situação onde o solo é levado em consideração. No inverno os valores de temperatura mais elevadas são obtidos na simulação onde a influência do solo é desconsiderada enquanto a simulação onde o solo é considerado proporciona os valores de temperatura interna mais baixos. Em São Paulo, a temperatura considerando-se a influência do solo chega a ser 8,5 % mais baixa quando comparada a análise desconsiderando-se o solo. Já para Curitiba esse diferença é de 11,8 %. Para a cidade de Salvador essa diferença alcança até 21,8 %. Estes resultados extremos encontrados para a cidade de Salvador podem ser justificados pelo fato das análises desconsiderando-se a influência do solo adotarem as temperaturas do solo fornecidas pelo arquivo climático. Como as propriedades do solo variam com a temperatura e dentro de uma mesma localidade, o ideal é utilizar as propriedades termofísicas do solo no local da edificação em estudo assim como as condições de cobertura do solo ao entorno da edificação.

Comparando-se a temperatura interna de dois ambientes distintos do pavimento subterrâneo (Z1 e Z2) nota-se que no verão, para todas as cidades testadas, as temperaturas pertencentes à Z2 são sempre mais elevadas que as temperaturas da Z1 nas simulações onde a influência do solo é

considerada. Como a temperatura do solo, no verão, é sempre menor que a temperatura interna do ar ambiente, para alcançar o equilíbrio térmico, as paredes e piso que estão em contato com o solo tendem a conduzir calor para o solo enquanto na Z2 esse calor só é transmitido através do piso. Fato oposto ocorre no inverno, onde a temperatura interna da Z2 é sempre menor que a temperatura interna da Z1. Já nas simulações onde a influência do solo é desconsiderada não ocorre variação de temperatura entre a Z1 e a Z2.

O gráfico mostrada na Figura 3 indica a diferença de temperatura média mensal existente entre a análise onde a influência do solo é considerada e a análise onde o solo é negligenciado. Assim como os resultados mostrados na Tabela 3 nota-se que, para as cidades de São Paulo e Curitiba, a desconsideração da influência do solo fornece resultados de temperatura interna para a Z1 inferiores aos resultados reais, quando a influência do solo é considerada, em meses de verão, e temperaturas internas mais elevadas nos meses pertencentes ao inverno. Já para Salvador as temperaturas médias mensais na simulação onde a influência do solo não é considerada são sempre mais elevadas do que os resultados obtidos na simulação onde o solo argiloso seco é considerado. Estes resultados indicam a importância da consideração das propriedades e características do solo no local da edificação, visto que a utilização do modelo simplificado (desconsiderando a influência do solo) implica em uma subestimação de até 7,3 °C na temperatura média interna do ambiente subterrâneo da edificação em estudo.

Figura 3: Diferença anual de temperatura interna (Z1)



Fonte: Os autores

4 CONCLUSÕES

Neste artigo, a influência do solo no desempenho térmico de ambientes subterrâneos em uma edificação térrea naturalmente ventilada é analisada a partir de comparações entre as simulações obtidas onde a influência do solo é desconsiderada e na situação onde o efeito tridimensional de transferência de calor do solo é levado em consideração. Diante dos resultados gerados é possível observar que nas simulações onde a influência do solo é desconsiderada os resultados obtidos de temperatura interna do ambiente subterrâneo analisado chega a atingir até 7,7 °C de diferença. Consequentemente, a desconsideração do solo pode gerar análises equivocadas de desempenho térmico, influenciando muitas vezes na adoção de práticas de construção desnecessárias em fase de projeto.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à CAPES e à UFOP pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220:** Desempenho térmico de edificações **–** 5 Partes. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional 2016**. Brasília, DF, 2016. Disponível em <https://ben.epe.gov.br/>. Acesso em: 12 mar. 2018.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional 2017**. Brasília, DF, 2017. Disponível em <https://ben.epe.gov.br/>. Acesso em: 12 mar. 2018.

CLEMENTS, E. **Three Dimensional Foundation Heat Transfer Modules for Whole-Building Energy Analysis**. 2004. 133 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Pennsylvania State University, Pennsylvania, 2004.

COSTA, V. A. C. da; RORIZ, V. F.; CHVATAL, K. M. S. Modeling of slab-on-grade heat transfer in EnergyPlus simulation program. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 117-135, jul./set. 2017. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000300166

DEPARTMENT of Energy Efficiency and Renewable Energy. **EnergyPlus.** Version 8.6.0. US, 2016. Disponível em: <https://energyplus.net/downloads>. Acesso em: 02 jan. 2018.

FERREIRA, C. C. **Análise de Sensibilidade por meio de Experimento Fatorial de Parâmetros de Desempenho Térmico de Envoltórias de Edificações Residenciais: Contribuição à Revisão das Normas Brasileiras.** 2016. 437f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2016.

KRARTI, M. Ground-coupled heat transfer: A chapter in advances in solar energy. **ASES publication**, p. 90, 1999.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates.** 2 ed. reimp. Inglaterra, UK: British Library, 1995. 460 p.