ANÁLISE SIMULADA DO POTENCIAL DE AMORTECIMENTO TÉRMICO DE UM SISTEMA VEGETADO VERTICAL UTILIZADO COMO FECHAMENTO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL PARA BELO HORIZONTE - MG[1]

RAMOS, L. T. S., Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET MG), email: lucasramoscivil@gmail.com; OLIVEIRA, R. D., CEFET MG, email: raqueldo@gmail.com

ABSTRACT

Suitable building envelope for a specific climate can foster improvements on the building's s thermal performance. The purpose of this work is to verify the thermal performance of a vertical greenery system as cladding of a Social Interest Housing project in comparison with a similar but regular construction, considering the compliance with the Brazilian standard NBR 15.575 (2013). For a case study definition, it was selected an architectural design of a social housing, a location and a proper vertical greenery system as well as a regular option for its building system. The temperature damping of both building systems was analyzed through the indoor temperature results of the EnergyPlus simulation. The results highlight the significant temperature damping of the vertical greenery systems for the Belo Horizonte climate. That system point out a technical viability for the case study. Besides the practical bias, this study also presents academic purpose in the dissemination and promotion of new researches on the subject, focused on tropical climates solutions, as well as to verify the efficiency of this method for horizontal buildings as a green roof alternative option.

***Keywords**: Vertical Greenery System. Thermal Simulation. Temperature Damping.*

1 INTRODUÇÃO

O uso eficiente de energia elétrica é um dos maiores desafios mundiais, dado suas implicações socioambientais. O crescimento do consumo elétrico decorre do desenvolvimento econômico do país e do seu crescimento populacional. No Brasil, edificações residenciais, comerciais e públicas são responsáveis por 42,8% da energia elétrica utilizada no país (BRASIL, 2017).

Segundo o Plano Nacional de Eficiência Energética – PNEf (BRASIL, 2011), para proporcionar condições de conforto térmico aceitáveis em edificações dos três setores (residencial, de serviços e público) gasta-se um montante significativo de energia elétrica. Estudos focados na eficiência energética de edificações podem contribuir na minimização do consumo de energia elétrica para climatização, especialmente para as Habitações de Interesse Social (HIS), cujo orçamento tende a ser reduzido.

Para Wong et al. (2010a) o fenômeno das Ilhas de Calor se faz decorrente da intensa urbanização nas cidades, onde se consomem os espaços vegetados substituindo-os por superfícies de baixa reflexão à radiação. Neste contexto, Wong et al. (2010a) e Minks (2013) propõem ampla reintrodução da vegetação em ambientes urbanos. Entretanto, o aumento da concentração

[1] RAMOS, L. T. S.; OLIVEIRA, R. D. Análise Simulada do Potencial de Amortecimento Térmico de um Sistema Vegetado Vertical Utilizado como Fechamento de Habitação de Interesse Social para Belo Horizonte - MG. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17, 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

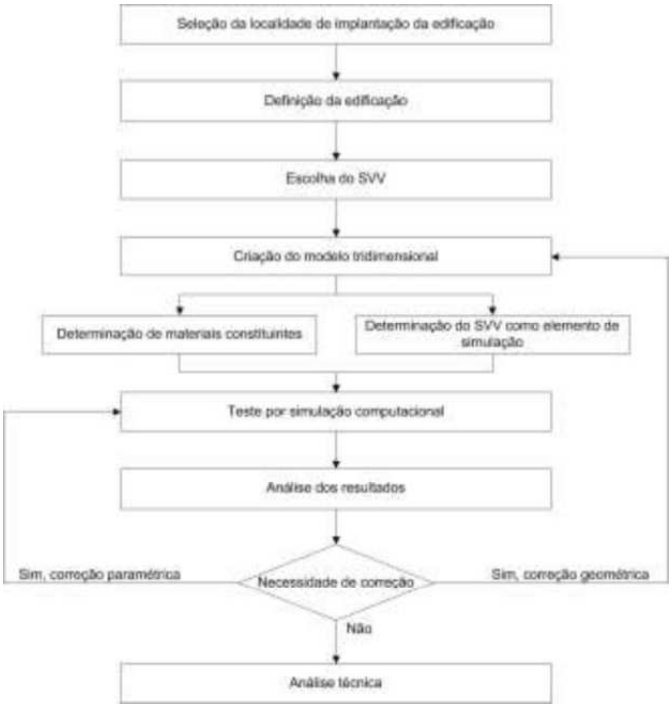
populacional nas cidades e maior adensamento urbano vêm implicando no aumento da verticalização dos edifícios, inclusive as propostas de HIS.

Com a vigência da norma NBR 15.575 em 2013 – que apresenta critérios avaliativos para o desempenho térmico de envoltórias habitacionais (ABNT, 2013), propõe-se neste trabalho analisar a viabilidade e pertinência da aplicação de sistemas vegetados verticais (SVV) associados à vedação vertical externa enquanto instrumento otimizador do desempenho térmico edilício. No Brasil, o aproveitamento da sua biodiversidade vegetal associado a um sistema construtivo se mostra relevante, uma vez que pode minimizar o impacto ambiental relativo ao aumento da população urbana, além de contribuir para redução do consumo da energia elétrica e maior eficiência energética das edificações. Desta forma este artigo apresenta uma alternativa sustentável numa técnica construtiva que impacta positivamente as condições de conforto térmico dos usuários, quanto à redução de temperatura interna de uma edificação usando SVV's.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram adotadas nesse estudo as seguintes etapas:

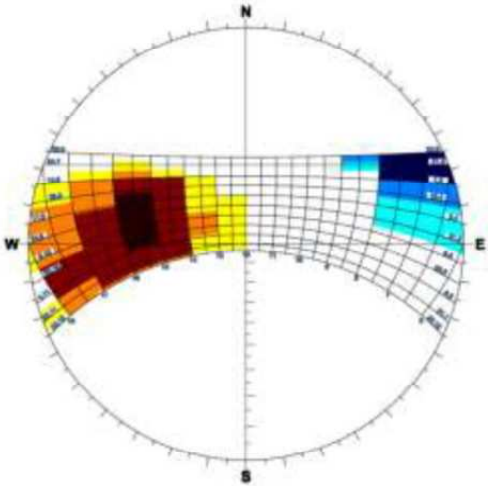
Figura 1 – Método de Procedimento



Fonte: Os autores

Definiu-se como estudo de caso uma HIS com 24m², em Belo Horizonte-MG, Zona bioclimática 3, conforme NBR 15.220-2/2008 (ABNT, 2008). Simulou-se a aplicação de SVV's nas paredes norte e oeste, por receberem o maior índice de radiação solar, conforme Figura 2.

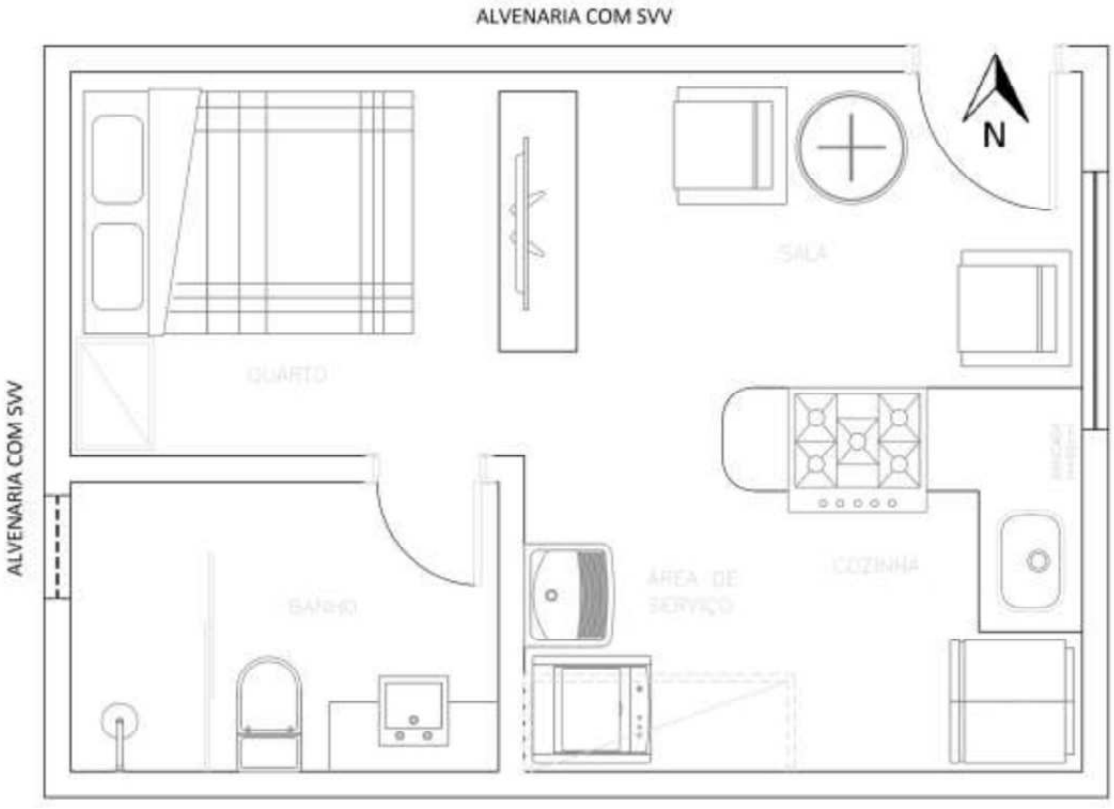
Figura 2 – Carta Solar de Belo Horizonte



Fonte: CB3E (2014)

A escolha da HIS se deu pelo expressivo número de moradias necessário para suprir o déficit habitacional brasileiro. A tipologia unifamiliar foi selecionada por se encaixar no foco do estudo, além de possibilitar um processo de modelagem computacional e simulação simplificados.

Figura 3 – Layout da HIS



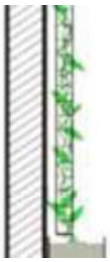
Fonte: Os autores

2.1 SVV – Sistema Vegetado Vertical

Sistema composto de elementos orgânicos (plantas) e inorgânicos (solo, estruturas, suportes, sistemas de irrigação), sobrepostos à vedação vertical externa da edificação. Neste trabalho propôs-se um sistema de apoio do tipo

extensivo, Figura 4, com plantio diretamente no solo para crescimento suportado diretamente pela alvenaria.

Figura 4 – Sistema de Apoio



Fonte: Os autores

A espécie selecionada foi a seguinte:

- *Ficus Pumila* (Figura 5): escolhida visando a simplicidade de execução e manutenção do sistema, pois suporta ação direta da radiação solar.

Figura 5 – Ficus Pumila

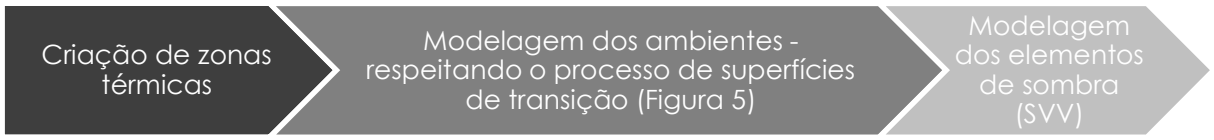


Fonte: Os autores

2.2 Modelo Tridimensional

Desenvolveu-se um modelo computacional da edificação utilizando o *software SketchUp* 2017 implementado com o plug-in *Euclid* versão 0.9.3. O Fluxograma 1 apresenta o processo de desenvolvimento desse modelo.

Fluxograma 1 – Execução do modelo



Fonte: Os autores

2.3 Materiais constituintes

Para a aplicação dos materiais componentes da edificação no *EnergyPlus* foi necessária a conversão destes elementos em materiais equivalentes conforme NBR 15.220 juntamente da metodologia proposta por Ordenes et al. (2003). Os valores de Resistência térmica (R_t), Capacidade térmica (C_t) e Transmitância térmica (U) para os elementos de vedação são apresentados na Tabela 1.

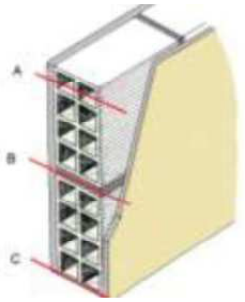
Tabela 1 – Parâmetros térmicos

Elemento construtivo	R_t [m²K/W]	C_t [kJ/m²K]	U [W/m²K]
Vedação vertical	0,45	163	2,24
Vedação horizontal	0,56	325,68	1,79

Fonte: Os autores

Nesta simulação utilizaram-se os seguintes sistemas:

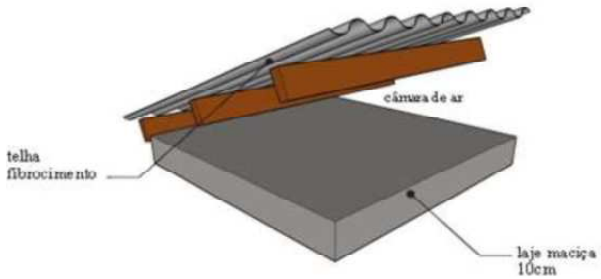
Figura 6 – Vedação Vertical



1) Revestimento interno (3,0cm)
2) Bloco cerâmico (9,0 x 19,0 x 29,0cm)
3) Revestimento externo (3,0cm)
4) Argamassa de assentamento (1,0cm)

Fonte: Os autores

Figura 7 – Vedação Horizontal



1) Telha fibrocimento branca 6mm (Brasilit top comfort)
2) Câmara de Ar (> 5 cm)
3) Laje de concreto (10 cm)
4) Forro de gesso (1 cm)

Fonte: Os autores

2.4 Teste por simulação

Desenvolveram-se dois modelos para simulação distintos pela existência ou não de SVV junto do sistema de vedação vertical externo da edificação. Realizaram-se duas simulações distintas visando analisar comparativamente os sistemas construtivos, verificando-se os efeitos da aplicação do SVV quanto à redução de temperaturas internas da edificação.

O teste foi desenvolvido no software *EnergyPlus* versão 8.7.0, por ser validado pelo *The Building Energy Simulation Tests* (BESTEST) adotado pela *ANSI/ASHRAE Standard* 140/2017 (ASHRAE, 2017), recomendado também pela NBR 15.575-1(2013) para avaliação de desempenho de edificações.

O processo de simulação foi feito pelo algoritmo TARP[2] para faces internas e DOE-2[3], para as faces externas das superfícies de transferência de calor além do modelo de cálculo de sombreamento *Average Over Days In Frequency*[4], disponível no próprio software. Após a simulação os resultados gerados são analisados, corrigidos e simulados novamente até a mitigação ou eliminação dos erros pela execução do *software*. O período da simulação foi de um ano com periodicidade horária, conforme os dados climáticos obtidos pelo *South America WMO Region 3 – Brazil* (*EnergyPlus*, 2017).

2.5 Análise do desempenho térmico

Finalizado a simulação, os dados são aplicados em uma análise de desempenho térmico pela avaliação de amortecimento térmico, conforme a Equação1, adaptada da proposta por Papst (1999).

$$\mu = 1 - \frac{\omega_S}{\theta_S} \quad (1)$$

Onde:

μ : Coeficiente de amortecimento térmico;

ω_S: Amplitude da temperatura superficial interna da vedação;

θ_S: Amplitude da temperatura do ambiente externo.

3 RESULTADOS

3.1 Análise dos resultados térmicos

Destacaram-se na Tabela 2 os resultados da simulação considerando o mês de setembro, apresentando as maiores temperaturas de ambas as simulações. Nota-se que o sistema com SVV apresentou maior amortecimento térmico, visto a redução da temperatura interna em relação à externa, em comparação com o sistema de vedação tradicional.

Tabela 2 – Análise de reduções de temperatura

Tipo de envoltório	Horário/Data	Temp. Externa [°C]	Temp. Interna [°C]	Redução [°C]
Com SVV	16h00 de 12/09	34	23,5	10,5
Sem SVV	16h00 de 02/09	33	24,2	8,8

Fonte: Os autores

[2] Este modelo combina convecção natural e acionada pelo vento baseada em correlações de medições laboratoriais em placas planas. DOE, 2016, p.47-48.

[3] Este modelo é baseado na correlação das medições realizadas para superfícies rugosas. DOE, 2016, p.48-49.

[4] Padrão de controle dos modelos solar, de sombreamento e de luz natural, determinados pelo tempo de cálculo na simulação. DOE, 2016, p.55.

Comparando-se o total de horas de redução de temperatura verifica-se na Tabela 3 uma diferença percentual expressiva entre ambos os sistemas, onde o sistema com aplicação de SVV apresenta quase o dobro de horas de redução de temperatura quando comparado com o sistema tradicional.

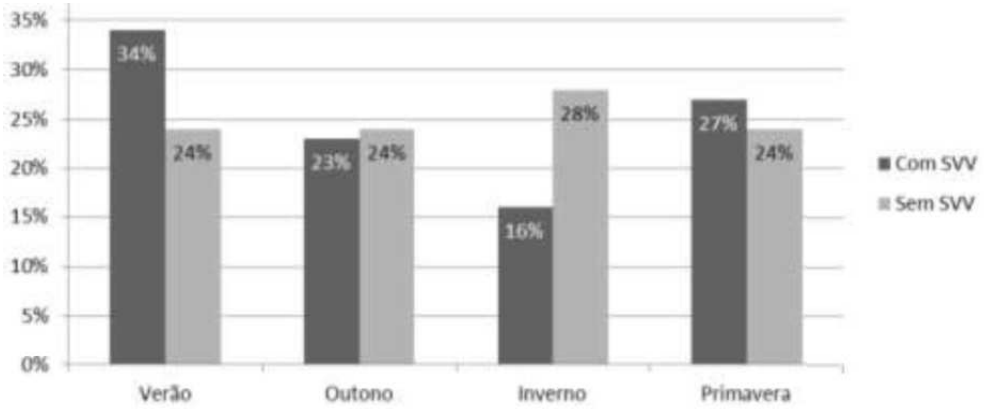
Tabela 3 – Redução de temperatura superior a 1°C

Vedação vertical	N° de horas com redução	% de horas anuais
Com SVV	3987	46
Sem SVV	2185	25

Fonte: Os autores

Para melhor visualização da ocorrência das reduções de temperatura, em relação às estações do ano, foram gerados os gráficos apresentados na Figura 8.

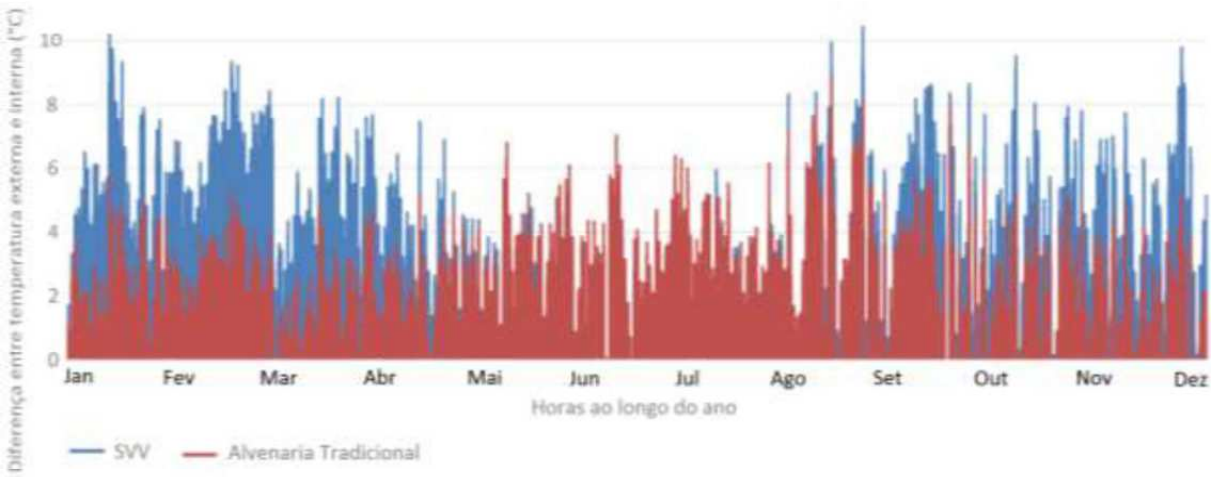
Figura 8 – Redução de temperatura superior a 1°C conforme estações



Fonte: Os autores

A Figura 9 mostra que o uso do SVV apresenta maiores reduções de temperatura nos períodos quentes do ano.

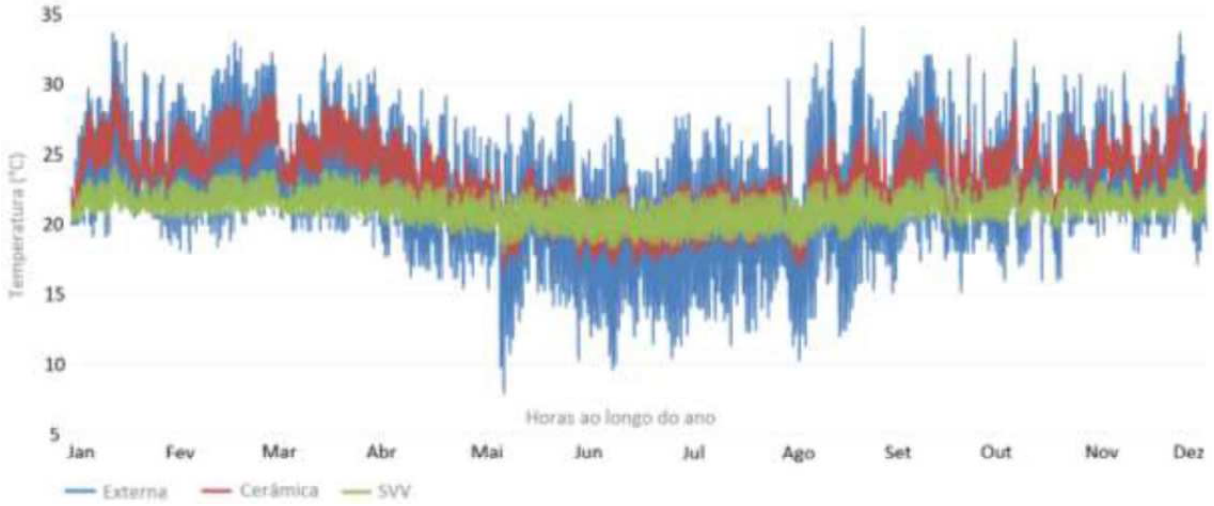
Figura 9 – Comparativo da distribuição das reduções de temperatura



Fonte: Os autores

A Figura 10 apresenta as temperaturas horárias externas e internas com e sem o SVV. Percebe-se que a aplicação do SVV nas fachadas oeste e norte da edificação proporcionou menor amplitude térmica, além do amortecimento da temperatura interna, comparado ao sistema tradicional de vedação.

Figura 10 – Temperatura horária



Fonte: Os autores

Analisando-se os dados gerados verificam-se os seguintes valores de amplitude térmica, conforme os valores de temperatura obtidos do arquivo climático de Belo Horizonte (*EnergyPlus*, 2016) apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Temperaturas máximas e mínimas

Ambiente	**Menor temperatura [°C]**	**Maior temperatura [°C]**	**Amplitude [°C]**
Externo	7,95	34,00	26,05
Interno (sem SVV)	16,44	30,56	14,12
Interno (com SVV)	17,91	24,13	6,22

Fonte: Os autores

3.2 Análise do desempenho térmico

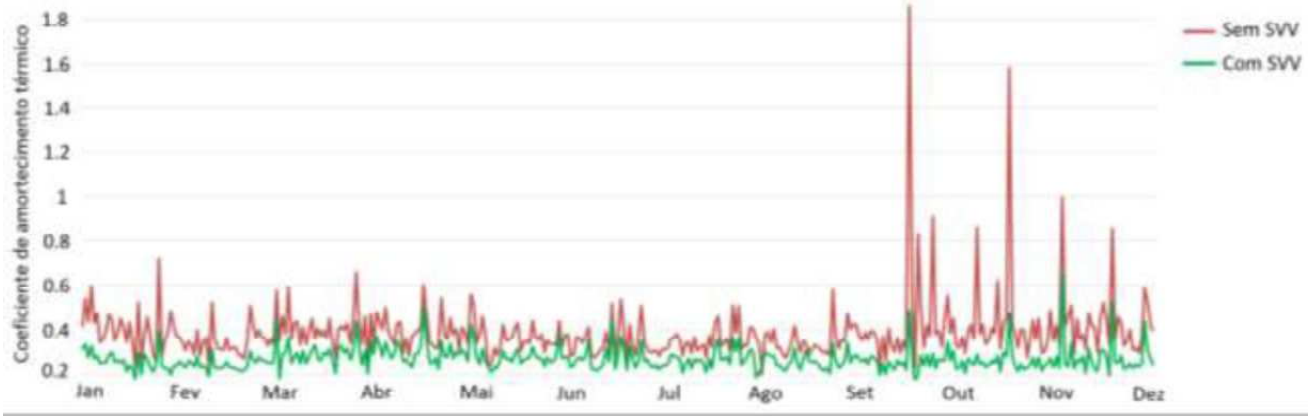
Aplicando-se os dados apresentados na Tabela 4 na equação 1 puderam-se extrair os coeficientes de amortecimento térmico para as temperaturas máximas e mínimas, conforme se apresenta na Equação 2 para envoltória em cerâmica e na Equação 3 para envoltória com SVV.

$$\mu_{cer} = 1 - \frac{14,12}{26,05} \rightarrow \quad \mu_{cer} = 0,46 \tag{2}$$

$$\mu_{SVV} = 1 - \frac{6,22}{26,05} \rightarrow \quad \mu_{SVV} = 0,76 \tag{3}$$

Expandindo-se essa análise para as temperaturas ao longo do ano obteve-se o gráfico da Figura 11.

Figura 11 – Distribuição dos coeficientes de amortecimento térmico no ano



Fonte: Os autores

Avaliando-se a Figura 11 percebe-se que a aplicação do SVV reduziu a amplitude do amortecimento, majoritariamente, entre 0,2 e 0,5. Os maiores valores de coeficiente de amortecimento térmico estão no último trimestre do ano, final da primavera e início do verão. A maior variação apresenta-se na Tabela 5.

Tabela 5 – Análise de coeficiente de amortecimento

	Sem SVV	**Com SVV**	**Melhoria [%]**
Maior variação	- 0,86	0,51	74

Fonte: Os autores

4 CONCLUSÕES

A simulação computacional possibilitou a análise do amortecimento dos sistemas de vedação verticais em habitação de interesse social. Neste contexto, verificou-se: redução de temperatura interna de até 10,5°C; concordância com os valores de redução apontados pela literatura, entre 3,3°C e 12°C (Wong et. Al, 2010b); possibilidade do uso de SVV's como elemento de regulação térmica para o clima de Belo Horizonte-MG; melhora nos índices de amortecimento térmico com a aplicação do SVV, e manutenção das temperaturas internas médias.

Visando o melhor desempenho da aplicação de um SVV associado à redução de custos de implementação, uma vez que o foco deste trabalho se faz na aplicação desses sistemas em Habitações de Interesse Social, indica-se a aplicação do mesmo apenas em fachadas mais pertinentes, como as que recebem maior índice de radiação ao longo do dia.

Verifica-se, por fim, que há espaço para que estudos complementares testem o SVV com objetivo de otimizar o desempenho térmico da envoltória, bem como, as horas de conforto propiciadas aos seus usuários para edificações verticalizadas ou mesmo para edificações de um ou mais pavimentos em outras cidades brasileiras. Outro possibilidade que deve ser avaliada é a do desenvolvimento de pesquisa para edificios verticalizados.

REFERÊNCIAS

ANSI/ASHRAE. **ASHRAE Adenddum to ASHRAE 140-2017:** Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs. 94 f. Atlanta, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **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, 2008.

_____. **NBR 15575**: Edificações habitacionais — Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
BRASIL. Ministério de Minas e Energia – MME. Balanço Energético Nacional 2017. Rio de Janeiro: EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia – MME. **Plano Nacional de Eficiência Energética**: Premissas e Diretrizes Básicas. Brasília: MME, 2011.

_____. **PBE Edifica (Inmetro/Eletrobras/PROCEL Edifica)**. Etiquetagem – Edificações Residenciais – Anexo I do RTQ-R. Rio de Janeiro, [200-]. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/Anexo1RTQ-R.pdf>. Acesso em 05 out. 2017.

CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES–CB3E. **RTQ-R Anexo I –** Dispositivos de Proteção Solar em Edificações Residenciais. 2014. 427 f. Manual para Aplicação do RTQ-R – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Núcleo de Edificações Residenciais. Florianópolis. 2014. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/Anexo1RTQ-R.pdf>. Acesso em 02 de out 2017.

ENERGYPLUS. **Weather Data - South America WMO Region 3 – Brazil – Belo Horizonte**. Golden, 2016. Disponível em <https://energyplus.net/weather-region/south_america_wmo_region_3/BRA%20%20>. Acesso em 19 mar. 2018.

MINKS, V. **A Rede de Design Verde Urbano –** Uma Alternativa Sustentável para Megacidades? Revista LABVERDE, n. 7, p. 120-141, 2013.

ORDENES, M.; PEDRINI, A.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **METODOLOGIA UTILIZADA NA ELABORAÇÃO DA BIBLIOTECA DE MATERIAIS E COMPONENTES CONSTRUTIVOS BRASILEIROS PARA SIMULAÇÕES NO VISUALDOE-3.1**. 2003. 19 f. Relatório Interno do Departamento de Engenharia Civil, Núcleo de Pesquisa em Construção, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2003.

PAPST, A. L. **Uso de Inércia Térmica no Clima Subtropical Estudo de Caso em Florianópolis –** SC. 1999. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis. 1999.

UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY - DOE. **EnergyPlus™ Version 8.7 Documentation**: Input Output Reference. Washington DC: U.S. Department of Energy, 2016.

WONG, N. H.; TAN, A. Y. K.; CHEN, Y.; SEKAR, K.; TAN, P. Y.; CHAN, D.; CHIANG, K.; WONG, N. C. Thermal Evaluation of Vertical Greenery Systems for Building Walls. **Building and Environment**, v. 45, p. 663-672, 2010a.

WONG, N. H.; TAN, A. Y. K.; TAN, P. Y.; SIA, A.; WONG, N. C. Perception Studies of Vertical Greenery Systems in Singapore. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 136, n. 4, p. 330-338, 2010b.