



XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE HIS EM DIAMANTINA/MG E EM GOVERNADOR VALADARES/MG POR MÉTODO SIMPLIFICADO E ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PELO PROGRAMA ENERGYPLUS

Ana Paula Campos Rodrigues (1); Bianca da Silva Maia (2); Mariana Fernandes Balsamão Guimarães Diniz (3)

- (1) Gestora Ambiental, Graduanda do curso de Arquitetura e Urbanismo, Pós-graduanda em Arquitetura Bioclimática - Desempenho Ambiental, anapaula-campos@hotmail.com,
(2) Engenheira civil, Pós-graduanda em Eficiência e Desempenho das Edificações, biancasmaia@hotmail.com
(3) Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda em Arquitetura Bioclimática - Desempenho Ambiental, marianadiniz.arquitetura@gmail.com

RESUMO

Os programas voltados para a construção de habitações de interesse social têm se tornado cada vez mais amplos em todo território nacional e uma das preocupações que envolvem os modelos de projetos direcionados à produção desses conjuntos habitacionais está relacionada as condições de conforto térmico aceitáveis, que diante das diversas variáveis climáticas existentes nas regiões brasileiras e das características de cada pessoa, são difíceis de serem alcançadas. Apesar da publicação de normas específicas sobre o desempenho térmico de edificações, as exigências para o atendimento a seus requisitos se intensificaram a partir da publicação da norma brasileira NBR 15575. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo realizar uma análise do desempenho térmico dos fechamentos para dois modelos construtivos de HIS unifamiliares térreas localizadas em zonas bioclimáticas distintas, Diamantina e Governador Valadares, Minas Gerais. Os resultados, obtidos mediante as análises simplificadas pelos dados da plataforma Projeteer e através da simulação computacional realizada pelo programa EnergyPlus, indicaram que o atendimento aos critérios de desempenho térmico definidos pelas partes 1, 4 e 5 da NBR 15575 não garantem as condições de conforto para os usuários no ambiente construído. Diante dos resultados há necessidade de revisão dos critérios e dos métodos de avaliação definidos pela Norma de Desempenho de forma que os parâmetros definidos sejam condizentes com a realidade de ocupação e uso das edificações HIS.

Palavras-chave: desempenho térmico, habitação de interesse social, NBR 15575, Projeteer, Energy-Plus.

ABSTRACT

The programs aimed at the construction of social housing have become increasingly broad throughout the national territory. And one of the concerns that surround the models of projects directed to the production of these housing complexes is related to the acceptable thermal comfort conditions, which, faced with the different climatic variables existing in the Brazilian regions and the characteristics of each person, are difficult to reach. Despite the publication of specific standards on the thermal performance of buildings, the requirements for meeting its requirements have intensified since the publication of the Brazilian standard NBR 15575. Thus, the objective of this work was to analyze the thermal performance of the closures for two single-family HIS (Social Interest Housing) constructive models, located in distinct bioclimatic zones, in Diamantina and Governador Valadares, Minas Gerais. The results, obtained through the simplified analyzes by the data of the Projeteer platform and through the computational simulation performed by the EnergyPlus software, indicated that meeting the thermal performance criteria defined by parts 1, 4 and 5 of NBR 15575 do not guarantee the comfort conditions for users in the built environment. In view of the results, it is necessary to review the criteria and evaluation methods defined by the Brazilian Standard, so that the parameters defined are consistent with the reality of occupation and use of HIS buildings.

Keywords: thermal performance, social interest housing, NBR 15575-1, Projeteer, Energy-Plus.

1. INTRODUÇÃO

O conceito de conforto térmico pode ser expresso a partir do estado mental de um indivíduo que, por sua vez, é manifestado através da sua satisfação com as condições térmicas de um determinado local que se encontra em equilíbrio ou pela insatisfação resultante da diferença entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente. (LAMBERTS, R *et al.*, 2016).

Devido às diversas variáveis climáticas e características de cada pessoa, projetar um ambiente que satisfaça a todos é praticamente impossível, pois sempre haverá um percentual de pessoas que estarão insatisfeitas termicamente. Porém, é possível especificar ambientes com condições de conforto térmico aceitáveis, ou seja, que atendam às necessidades da maioria de seus ocupantes. (FROTA, 2001; LAMBERTS *et al.*, 2016).

Em 2005 foram publicadas normas específicas sobre o desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005a, 2005b, 2005c, 2005d, 2005e) definindo o zoneamento bioclimático brasileiro e as estratégias bioclimáticas para edificações de interesse social, mas as exigências para o atendimento a esse requisito se intensificaram a partir da publicação da norma brasileira NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c; SILVA *et al.*, 2014; COTTA e ANDERY, 2018). Voltada para edificações habitacionais independentemente do seu número de pavimentos, a Norma de Desempenho não tem as mesmas características das normas prescritivas, uma vez que não traz recomendações sobre como o prédio deve ser construído, mas sim o que cada sistema construtivo deve atender para que ele alcance o desempenho mínimo desejado. (CHVATAL, 2014).

De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2013), dentre as três categorias que representam as necessidades do usuário, o desempenho térmico na NBR 15575 foi incorporado ao requisito relacionado às boas condições de habitabilidade. As partes 1, 4 e 5 da NBR 15575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c) abordam o desempenho térmico de edificações e apresentam, respectivamente, prescrições quanto aos valores máximos de temperatura, propriedades térmicas das paredes e coberturas. A partir dessas recomendações é possível realizar uma avaliação simplificada da edificação, porém quando os resultados obtidos não atendem aos critérios estabelecidos, o desempenho deve ser atestado por meio de simulações ou medições (SOARES e SILVA, 2017; SORGATO *et al.*, 2014).

O desempenho térmico das edificações pode ser traduzido como o comportamento do ambiente construído face aos parâmetros climáticos internos diante do clima externo local (SOARES *et al.*, 2016). Desta forma, as relações dos fechamentos de uma construção com o ambiente interno e externo dependem das características dos elementos e materiais que compõem o envelopamento assim como da capacidade do ganho de calor externo.

Através dos investimentos do governo brasileiro nos últimos anos na construção de Habitações de Interesse Social (HIS) para famílias de baixa renda através do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), e considerando sua amplitude, é importante que o desempenho térmico destas habitações também seja analisado (GOUVEIA e SPOSTO, 2016) visando a melhoria da qualidade dos projetos, que há décadas, replicam as mesmas soluções e características projetuais (ARAGAO e HIROTA, 2016).

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo foi analisar o desempenho térmico para dois modelos de HIS unifamiliares térreas localizadas em duas zonas bioclimáticas diferentes e intermediárias, sendo uma situada em Diamantina - MG e a outra em Governador Valadares - MG a partir da avaliação das tipologias construtivas por métodos prescritivos e por simulação computacional e da comparação dos resultados com os critérios especificados pela NBR 15575.

3. MÉTODO

Para o desenvolvimento da pesquisa, as etapas de avaliação do desempenho térmicos das habitações escolhidas para estudo foram definidas e realizadas a partir de dois procedimentos estabelecidos pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) que correspondem à análise por método simplificado (normativo) e à análise por simulação computacional.

3.1 Tipologias construtivas das edificações simuladas

Para a realização desse estudo foi escolhida uma edificação de HIS do Residencial Mirante da Palha, composto por 170 unidades que atualmente está sendo executado na cidade de Diamantina-MG, e uma edificação do Residencial Porto das Canoas, último conjunto de HIS entregue no Bairro Santos Dumont II na

cidade de Governador Valadares-MG, constituído de 151 casas populares. O projeto arquitetônico e o memorial descritivo das habitações utilizados para caracterizar os sistemas construtivos foram disponibilizados pela empresa construtora responsável pela execução de cada empreendimento. A Figura 1 apresenta a planta das edificações estudadas.

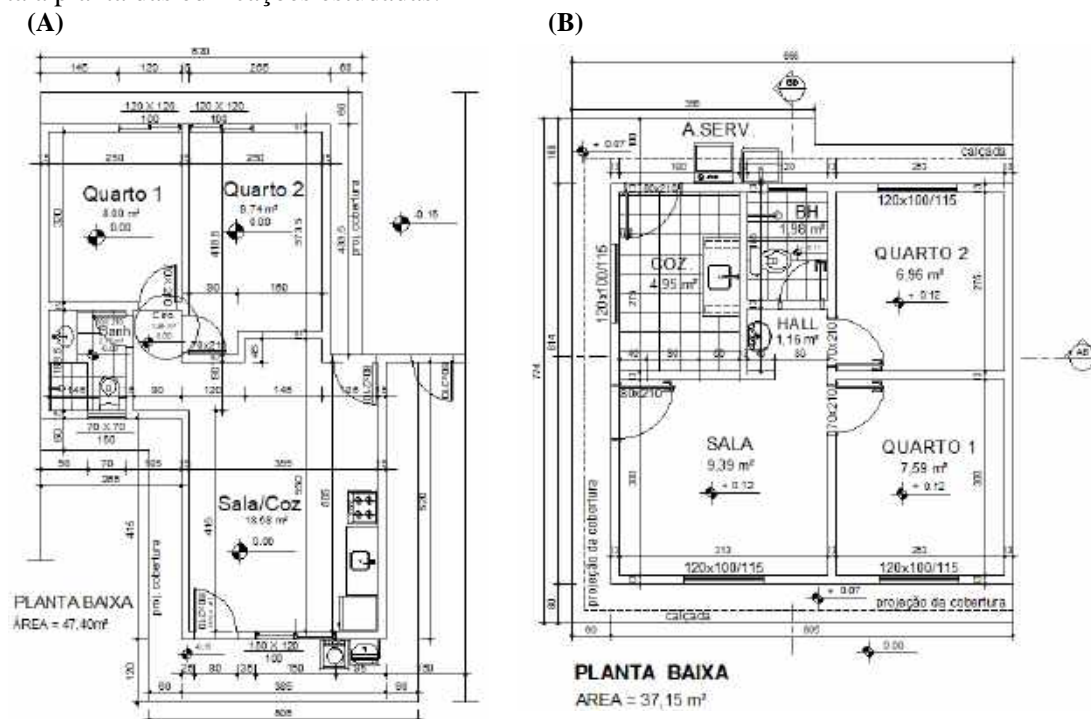


Figura 1 - Plantas HIS: (A) Diamantina/MG; (B) Governador Valadares/MG (Adaptado Projeto Arquitetônico)

3.2. Análise das zonas bioclimáticas e diretrizes construtivas para as cidades estudadas segundo a NBR 15220

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005c) define a divisão do território brasileiro em oito regiões geográficas com características climáticas relativamente homogêneas. Para cada uma destas zonas, um conjunto de recomendações técnico-construtivas foi formulado visando contribuir com o melhor desempenho térmico das edificações. A cidade de Diamantina/MG está localizada na zona bioclimática 3 e o município de Governador Valadares/MG está situado na zona bioclimática 5.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2002), o Estado de Minas Gerais está localizado na unidade climática Tropical Central, sendo que as diferenças das condições climáticas existentes entre os dois municípios analisados podem ser observadas através da Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros climáticos DMT/MG e GV/MG

Cidade	Dados	Mês												Fonte
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
DMT	TBS média (°C)	20,6	20,6	20,3	19,3	17,4	16,1	15,7	16,8	18,4	19,7	19,6	20,0	INMET, 2018
GV	TBS média (°C)	26,5	26,6	26,1	24,8	22,5	21,1	20,9	21,9	23,7	25	25,8	25,9	INMET, 2018
DMT	UR (%)	78,5	76,1	79,5	78,7	77,1	74,8	71,6	68,2	67,9	69,4	79,1	81,6	INMET, 2018
GV	UR (%)	78,6	76,3	77,6	78,6	78,1	78,3	75,3	72,0	68,8	69,6	75,7	78,4	INMET, 2018
DMT	Precipitação (mm)	236,7	142,7	185	76,6	22,9	6,3	4,7	13,2	33,1	118,5	232,7	302,9	INMET, 2018
GV	Precipitação (mm)	173	83,5	113	48,8	23,1	13,6	8,0	13,6	33,9	69,8	170,4	234,9	INMET, 2018
DMT	Ventos	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	N	INMET, 2018
GV	Ventos	C	C	C	C	C	C	C	C	C	E	C	C	INMET, 2018

Nota: *C, Calmo; E, Leste; N, Norte.

Por apresentar temperaturas médias entre 15°C e 18°C em pelo menos um mês do ano e período seco de 4 a 5 meses, o clima da cidade de Diamantina é classificado como subquente semiúmido. O clima de Governador Valadares é caracterizado como quente semiúmido devido às temperaturas médias serem maiores que 18 °C em todos os meses do ano e por apresentar um período seco de 4 a 5 meses (IBGE, 2002).

No que se refere ao regime de ventos, a NBR 15220 (ABNT, 2005c) apresenta diretrizes relativas à área mínima de ventilação entre 15% a 25% da área do piso para as zonas 03 e 05. Como nessa pesquisa foram seguidas as prescrições da NBR 15575-4 (ABNT 2013b), o critério estabelecido determina aberturas médias $\geq 7\%$ da área de piso para ambientes de longa permanência, como salas e dormitórios.

O método de avaliação previsto na NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) consiste na análise do projeto arquitetônico, devendo ser considerada para cada ambiente de longa permanência a relação apresentada na Equação 1:

$$A = 100 \times (A_A / A_P) (\%) \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

- A - área para ventilação em porcentagem;
- A_A - área efetiva de abertura de ventilação do ambiente, sendo que para o cálculo desta área somente são consideradas as aberturas que permitam a livre circulação do ar, devendo ser descontadas as áreas de perfis, vidros e de qualquer outro obstáculo; nesta área não são computadas as áreas de portas internas;
- A_P - área de piso do ambiente.

3.3. Características térmicas analisadas para os materiais, elementos e componentes construtivos

Com o intuito de estabelecer requisitos e critérios para o desempenho térmico aos sistemas de vedação e cobertura, a Norma de Desempenho define os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica e para a capacidade térmica de paredes externas (ABNT, 2013b). Já para o sistema de cobertura, a exigência abrange apenas a isolamento térmica levando em consideração apenas o critério de transmitância térmica do telhado (ABNT, 2013c).

A NBR 15220-1 (ABNT, 2005a) define que a transmitância térmica, também conhecida pelo coeficiente global de transferência de calor, é o inverso da resistência térmica total, sendo representada pelo símbolo “U” e pela unidade de medida W/(m².K). Já a capacidade térmica, de acordo com a NBR 15220-1 (ABNT, 2005a), é a quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema. A capacidade térmica referenciada pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) é definida pelo quociente da capacidade térmica de um componente (C_T) pela sua área, sendo medida em kJ/(m².K).

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) especifica que, para o sistema de vedação vertical externo, a transmitância térmica para a Zona 03 e para a Zona 05 deve ser de $U \leq 3,7 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ se $\alpha \leq 0,6$ ou $U \leq \text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$ se $\alpha > 0,6$. A capacidade térmica (C_T) precisa ser $\geq 130 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$. Para o sistema de cobertura, a NBR 15575-5 (ABNT, 2013c) define que os valores para a transmitância térmica das zonas bioclimáticas em questão devem ser de $U \leq 2,3 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ se $\alpha \leq 0,6$ ou $U \leq 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ se $\alpha > 0,6$.

Conforme referenciado, a transmitância térmica está diretamente relacionada à absorvância e à radiação solar que é o quociente da taxa de radiação absorvida por uma superfície pela taxa de radiação incidente sobre esta mesma superfície representada pelo símbolo “ α ” e sem unidade de medida, sendo que a principal determinante dessa característica é a cor da superfície das envoltórias (ABNT, 2005a; SANTOS, 2013; LAMBERTS, *et al.*, 2014).

3.4. Análises simplificadas pelo Projeteer



Por meio dos dados climáticos disponibilizados na plataforma Projeteer, que contempla diversas soluções voltadas para a concepção de projetos de edificações eficientes assim como os dados das propriedades térmicas de uma variedade de componentes construtivos, a análise do desempenho térmico foi realizada para as envoltórias das unidades habitacionais.

A Norma de Desempenho (ABNT, 2013b, 2013c) considera a obtenção dos resultados pelos procedimentos prescritivos apresentados na NBR 15220-2 (ABNT, 2005b) como um método simplificado. A plataforma foi usada para analisar os dados da transmitância térmica e da capacidade térmica para diversas tipologias construtivas de paredes e coberturas executadas por métodos convencionais. Para os casos em que o sistema adotado não estava listado com os resultados das simulações, os dados foram obtidos através da calculadora de propriedades mediante a inserção dos tipos de camadas começando pela mais externa até

chegar à mais interna assim como as espessuras de cada material que compõem o fechamento. (PROJETEEE, 2019).


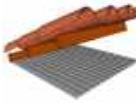
Para a realização das simulações na plataforma, foram respeitadas as tipologias informadas no memorial descritivo de cada conjunto habitacional sendo indicado os valores de absorvância para os materiais empregados nas superfícies dos fechamentos de cada HIS, conforme apresentado nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Características dos sistemas de fechamentos da HIS de Diamantina/MG

Tipologia Fechamentos	Características	Materiais superfícies	Valores de Absortância	Fonte
 SVVE-I	Pintura acrílica; Argamassa externa 2,5 cm; Bloco de concreto 9,0x19,0x39,0 cm; Argamassa interna 1,5 cm; Gesso liso 0,5 cm	Tinta acrílica fosca cor branco neve	0,10	Dornelles, 2008, p.101
		Tinta acrílica fosca cor cinza claro (branco gelo)	0,30 / 0,37	Dornelles, 2008, p.100/101
		Tinta acrílica fosca cor branco unicórnio (perolado)	0,22 / 0,33	Dornelles, 2008, p.100/101
 SC-I	Telha cerâmica (esp. 1 cm); câmara de ar (esp. > 5 cm; fluxo descendente); laje concreto armado (esp. 10 cm)	Telha de barro (cerâmica)	0,75 / 0,80	NBR 15220,2005b

Nota: *SVVE, sistema de vedação vertical externa; SC, sistema de cobertura conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013b, 2013c).

Tabela 3 - Valores de absorvância para as vedações externas da HIS de Governador Valadares/MG

Tipologia Fechamentos	Características	Materiais superfícies	Valores de Absortância	Fonte
 SVVE-II	Pintura acrílica; Argamassa externa 2,5 cm; Bloco cerâmico 9,0x19,0x19,0 cm; Argamassa interna 2,5 cm	Tinta acrílica fosca cor azul céu	0,62 / 0,64	Santos, 2013, p.119
		Tinta acrílica fosca cor palha	0,27 / 0,37	Dornelles, 2008, p.100/101
		Tinta acrílica fosca cor verde água	0,40	NBR 15220, 2005b
		Tinta acrílica fosca cor pêssego	0,35 / 0,43	Dornelles, 2008, p.100/101
 SC-II	Telha cerâmica (esp. 1 cm); câmara de ar (esp. > 5 cm / fluxo descendente); forro PVC (esp. 1 cm)	Telha de barro (cerâmica)	0,75 / 0,80	NBR 15220, 2005b

Nota: *SVVE, sistema de vedação vertical externa; SC, sistema de cobertura de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013b, 2013c).

3.5. Simulações computacionais pelo EnergyPlus

Para os casos em que a avaliação da transmitância térmica e da capacidade térmica resultaram em dados insatisfatórios, o desempenho térmico da edificação foi avaliado como um todo por meio de simulação computacional no programa EnergyPlus (National Renewable Energy Laboratory - NREL), que permite a determinação do comportamento térmico de edificações sob condições dinâmicas de exposição ao clima e a reprodução dos efeitos de inércia. (ABNT, 2013a).

As simulações computacionais realizadas pelo programa EnergyPlus avaliaram o desempenho térmico em função da temperatura no interior de uma edificação a partir dos dados climáticos históricos da cidade utilizada como referência que, por sua vez, foram obtidos através do website energyplus.net na seção "Weather". Nesta pesquisa considerou-se as informações pertinentes aos municípios de Diamantina-MG e de Governador Valadares-MG.

Conforme recomendado pela ABNT NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), para a geometria do modelo de simulação foi considerada a habitação como um todo onde cada ambiente foi tratado como uma zona térmica. De acordo com o apresentado na Tabela 4 para a composição de materiais para a simulação, foram utilizados dados das propriedades térmicas dos materiais e/ou componentes construtivos, que por sua vez foram extraídos da NBR 15220-2 (ABNT, 2005b).

Tabela 4: Características físicas e térmicas dos materiais utilizados nas simulações pelo EnergyPlus

Material	Condutividade W/(m.K)	Densidade kg/m ³	Calor específico J/(kg.K)	Absorção solar	Fonte
Argamassa	1,15	2100,00	1000,00	0,50	RIBAS, 2013, p. 98
Bloco cerâmico vedação	1,05	1800,00	920,00	0,80	RIBAS, 2013, p. 98
Bloco de concreto	1,93	2400,00	1000,00	0,70	RIBAS, 2013, p. 98
Camada de ar	1,00	1,21	1,00	0,50	RIBAS, 2013, p. 98
Concreto	1,93	2400,00	1000,00	0,70	RIBAS, 2013, p. 98
Forro PVC	0,20	1300,00	960,00	0,75	LOUZICH <i>et al.</i> , 2016, p.8
Telha cerâmica	0,85	1900,00	840,00	0,60	RIBAS, 2013, p. 98

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos nesta pesquisa serão apresentados a seguir conforme os métodos adotados supracitados.

4.1. Análise das aberturas de ventilação das HIS

A princípio foram analisadas as áreas mínimas de abertura para ventilação dos ambientes de permanência prolongada como as salas e dormitórios de cada unidade, sendo que as informações foram levantadas com base nas especificações técnicas do projeto arquitetônico (Figura 1) e do memorial descritivo de cada modelo de habitação. Como a NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) estabelece que os ambientes de permanência prolongada devem ter aberturas para ventilação com áreas que atendam à legislação específica do local da obra, os parâmetros foram comparados também com base no Códigos de Obras de cada município.

Devido a sala e a cozinha terem sido locadas de forma conjugada na planta baixa da HIS da cidade de Diamantina-MG, para o cálculo de ventilação, foi computado a área total desses dois ambientes. Das duas portas existentes, considerou-se apenas a localizada na fachada, uma vez que a porta que dá acesso a parte dos fundos do lote não foi identificada com a função “ar e luz”. No projeto da HIS de Governador Valadares-MG, a sala e a cozinha são independentes sendo considerada na análise somente as aberturas externas da sala e dos quartos. Para todos os casos, levou-se em consideração somente 45% da área de abertura da esquadria por se tratar de uma região que de fato permite a livre circulação de ar para o interior do ambiente, uma vez que as janelas utilizadas são do tipo de correr sendo parte da folha fixa e parte móvel.

Mediante os dados da Tabela 5, pode ser evidenciado que apenas a área de ventilação dimensionada para a sala/copa da HIS em Diamantina atende aos critérios estabelecidos pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) e pelo código de obras. O mesmo ocorre para o modelo de casa térrea em Governador Valadares (Tabela 6), porém apesar da área de abertura definida para os dormitórios não atender a legislação municipal, os valores atendem os critérios da Norma de Desempenho.

É importante ressaltar que apesar da parte 4 da NBR 15575 (ABNT, 2013b) contemplar um requisito sobre aberturas em fachadas das habitações com dimensões adequadas para proporcionar a ventilação interna dos ambientes, a renovação do ar pode ocasionar ganho ou perda de calor (FROTA, 2001). Diante disso, as estratégias devem levar em consideração a temperatura externa ou interna de cada região. As aberturas devem ser dimensionadas conforme as características do clima local, pois se em uma cidade o calor apresenta um certo rigor, as aberturas devem ser previstas de forma a proporcionar ventilação cruzada e intensa a partir da orientação dos ventos dominantes (FROTA, 2001). Nas regiões mais frias, devem ser previstos fechamentos das aberturas de forma que não haja passagem de eventuais ventos frios.

Tabela 5 - Áreas mínimas de ventilação HIS de Diamantina/MG

Zona Bioclimática 3 - DMT/MG							
Planta Baixa	Ambientes	Área do piso (m ²)	Área da janela/porta (m ²)	Código de Obras	NBR 15575 (parte 4)		Área de abertura mínima de ventilação
				A=1/12 da Apiso (m ²)	≥ 7 % Apiso (m ²)		A= % da área do vão de projeto
Figura 1 (A)	Quarto I	8,00	1,20	0,67	A ≥	0,56	0,54
	Quarto II	9,74	1,20	0,81	A ≥	0,68	0,54
	Sala/Cozinha	18,58	1,80	1,55	A ≥	1,30	2,32
1,68							

Atende o Código de Obras e a NBR 15575 Não atende o Código de Obras e a NBR 15575

Tabela 6 - Áreas mínimas de ventilação HIS de Governador Valadares/MG

Zona Bioclimática 3 - GV/MG							
Planta Baixa	Ambientes	Área do piso (m ²)	Área da janela/porta (m ²)	Código de Obras	NBR 15575 (parte 4)		Área de abertura mínima de ventilação
				A=1/12 da Apiso (m ²)	≥ 7 % Apiso (m ²)		A= % da área do vão de projeto
Figura 1 (B)	Quarto I	6,88	1,20	0,57	A ≥	0,48	0,54
	Quarto II	7,75	1,20	0,65	A ≥	0,54	0,54
	Sala	9,21	1,20	0,77	A ≥	0,64	2,05
1,68							

Atende o Código de Obras e a NBR 15575 Atende a NBR 15575, mas não atende o Código de Obras

4.2. Análise do desempenho térmico dos fechamentos das HIS

Por meio do método simplificado verificou-se a transmitância e a capacidade térmica dos fechamentos para os dois modelos de habitações escolhidas para esse estudo segundo as características de cada sistema construtivo e os dados disponibilizados na plataforma Projeteee. As informações obtidas foram separadas por tipo de vedação, sendo que os parâmetros de absorvância (α) determinados pelas partes 4 e 5 da NBR 15575 (ABNT, 2013b, 2013c) também foram indicados dada a sua influência na análise dos resultados.

Os valores apurados para os envelopes das HIS foram especificados na Tabela 6. Considerando os dados de absorvância para as cores das fachadas de cada edificação (Tabelas 2 e 3) e os critérios determinados na NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), a transmitância térmica (U) de ambos sistemas de vedação vertical externa foi tida como satisfatória. Observou-se também que a capacidade térmica (C_T) atende os valores mínimos ($C_T \geq 130 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$) - zonas 1 a 7) admissíveis para a paredes externas. Em contrapartida, a simulação realizada para a análise da transmitância térmica (U) das vedações horizontais externas ficaram acima dos valores máximos admissíveis para os sistemas de coberturas conforme critérios definidos na NBR 15575-5 (ABNT, 2013c).

O não atendimento ao requisito de isolamento térmica para as coberturas analisadas deu-se em função da absorvância em relação a radiação solar ser superior a 0,6. Desta forma, considerando que a NBR 15220-3 (ABNT,2005c) estabelece que as coberturas nas zonas 3 e 5 devem ser leves e isoladas se a superfície das telhas cerâmicas fosse pintada ou constituída por uma tonalidade mais clara ($\alpha \leq 0,6$), a transmitância obtida para o sistema de cobertura de Diamantina (SC I = $2,05 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$) e de Governador Valadares (SC II - $1,75 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$) atenderia os critérios estabelecidos pela NBR 15575-5 (ABNT, 2013c).

Tabela 7 - Transmitância térmica e capacidade térmica simuladas para as HIS de Diamantina/MG e Governador Valadares/MG

Tipologia Fechamentos	NBR 15575 - 4 e 5 $\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$		Resultados U	Resultados C_T	Fonte
			$\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$	$\text{kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$	
SVVE-I	$U \leq 3,7$	$\alpha \leq 0,6$	2,77	213,4	Projeteee, 2019
	$U \leq 2,5$	$\alpha > 0,6$			
SVVE-II	$U \leq 3,7$	$\alpha \leq 0,6$	2,32	142,7	Projeteee, 2019
	$U \leq 2,5$	$\alpha > 0,6$			
SC-I	$U \leq 2,3$	$\alpha \leq 0,6$	2,05	N.A.	Projeteee, 2019
	$U \leq 1,5$	$\alpha > 0,6$			
SC-II	$U \leq 2,3$	$\alpha \leq 0,6$	1,75	N.A.	Projeteee, 2019
	$U \leq 1,5$	$\alpha > 0,6$			

■ Atende a NBR 15575 ■ Não atende a NBR 15575

4.3. Análise do desempenho térmico das edificações HIS

Como os resultados do isolamento para ambos sistemas de cobertura não foram alcançados pelo método simplificado, a verificação do desempenho térmico foi realizada para a edificação como um todo por meio do *software* EnergyPlus conforme os procedimentos estabelecidos pela NBR 15575 - Parte 1.

De acordo com o apresentado na Figura 2, os modelos simulados obedeceram às características construtivas de cada edificação térrea, sendo respeitado o emprego dos materiais especificados, as dimensões das plantas, do pé direito, das aberturas e até mesmo do beiral da cobertura devido ao sombreamento externo que ele proporciona na residência.

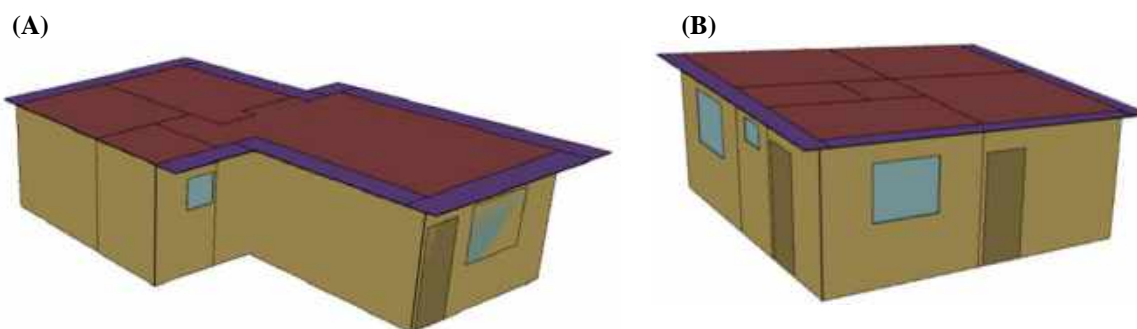


Figura 2 - Modelos simulados: (A) Diamantina/MG; (B) Governador Valadares/MG (Adaptado do software EnergyPlus,2018)

Partindo do princípio de que cada dependência foi considerada como uma zona térmica, foram extraídos os valores de temperaturas internas de cada ambiente para todos os meses do ano. Visando facilitar

a compreensão dos resultados as temperaturas mínimas e máximas mensais foram compiladas por meio de gráficos (Figura 3 e Figura 4).

Com o intuito de possibilitar uma análise comparativa dos valores obtidos nas simulações com os critérios de desempenho estabelecidos na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) a partir das normais climatológicas (INMET, 2018), foram levantados os valores das temperaturas externas mínimas e máximas para a cidade de Diamantina-MG (Tabela 8). Para essa localidade, apesar da predominância de temperaturas mais amenas, optou-se pela avaliação do período de inverno e de verão. Para a cidade de Governador Valadares-MG as análises no período de inverno foram dispensadas, uma vez que na região as temperaturas são elevadas durante todo o ano, sendo apresentadas na Tabela 8 apenas as temperaturas máximas mensais.

Conforme as exigências de desempenho estabelecidas pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013) para o dia típico de verão, as condições térmicas no interior da habitação devem ser melhores ou iguais às do ambiente externo. Em relação aos requisitos de desempenho no inverno, as zonas de 1 a 5 devem apresentar no dia típico de inverno condições térmicas no interior do edifício habitacional melhores que do ambiente externo, devendo ser obtido valores sempre maiores ou iguais à temperatura mínima externa acrescida de 3°C.

Nesse contexto, considerando que nos meses de junho, julho, agosto e setembro são registradas as temperaturas externas mais baixas na cidade de Diamantina-MG (Tabela 8), as simulações realizadas no modelo de HIS apresentaram valores satisfatórios para o período do inverno, uma vez que em todos os ambientes foram apuradas temperaturas maiores que 15°C (Figura 3A). No período de verão, considerando que a temperatura máxima externa é de 26°C, os valores apresentados na Figura 3B demonstram que em todas as dependências de longa permanência (sala/copa e dormitórios) as temperaturas internas são mais altas.

Através da Figura 4, apresenta-se os valores máximos de temperatura para a cidade de Governador Valadares - MG, sendo observado que a temperatura mais elevada, com pouco mais de 36°C, foi registrada no mês de fevereiro para o ambiente da cozinha. Com base na temperatura máxima registrada nesse município (40,2°C) e nos critérios definidos pela ABNT NBR 15575-1, conclui-se que todas as temperaturas internas obtidas para a tipologia simulada se encontram abaixo das temperaturas externas.

Diante disso, apesar dos casos em que o desempenho térmico estabelecido pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) tenha sido considerado satisfatório para as condições de inverno ou de verão, as proposições de Givoni a respeito da zona de conforto para países em desenvolvimento, ressaltam que as condições de conforto do organismo humano são limitadas as temperaturas entre 18°C e 29°C (LAMBERTES *et al.*, 2014).

Em ambas situações, inverno e verão, há possibilidades de os usuários utilizarem equipamentos para resfriamento ou para aquecimento dos ambientes. Apesar de ser a solução mais prática para os moradores, o condicionamento de ar não é a alternativa mais recomendada para resolver o desconforto em dias típicos de calor e de frio, principalmente por não ser uma opção eficiente do ponto de vista energético. A ventilação natural, a inércia térmica e o isolamento são estratégias bioclimáticas que devem fazer parte do partido arquitetônico, conforme aplicável (FROTA, 2001).

Desta forma, o desempenho térmico para o ambiente construído precisa ser compatibilizado com as condições de conforto dos indivíduos, sendo necessária uma nova avaliação dos critérios definidos na NBR 15575-1. Outro ponto que precisa ser revisto na referida norma são os métodos de avaliação definidos para análise do desempenho no verão e no inverno, uma vez que os procedimentos recomendados para as simulações não consideram seus ocupantes e nem a presença de outras fontes térmicas internas (lâmpadas e equipamentos em geral), o que não condiz com a realidade de ocupação e uso de uma edificação real.

Tabela 8 - Temperaturas mínimas e máximas para as cidades avaliadas

Cidade	Temp. (°C)	Mês												Fonte
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
DMT/MG	Mínima	17,0	16,5	17,0	15,9	13,9	12,3	11,3	11,4	12,9	14,8	16,1	16,9	INMET, 2018
	Máxima	25,8	26,0	25,6	24,6	23,0	21,9	21,4	22,9	24,5	25,5	24,5	24,9	INMET, 2018
GV/MG	Máxima	40,2	40,0	37,8	38,2	35,8	34,8	35,4	38,0	39,6	39,8	39,6	40,4	INMET, 2018

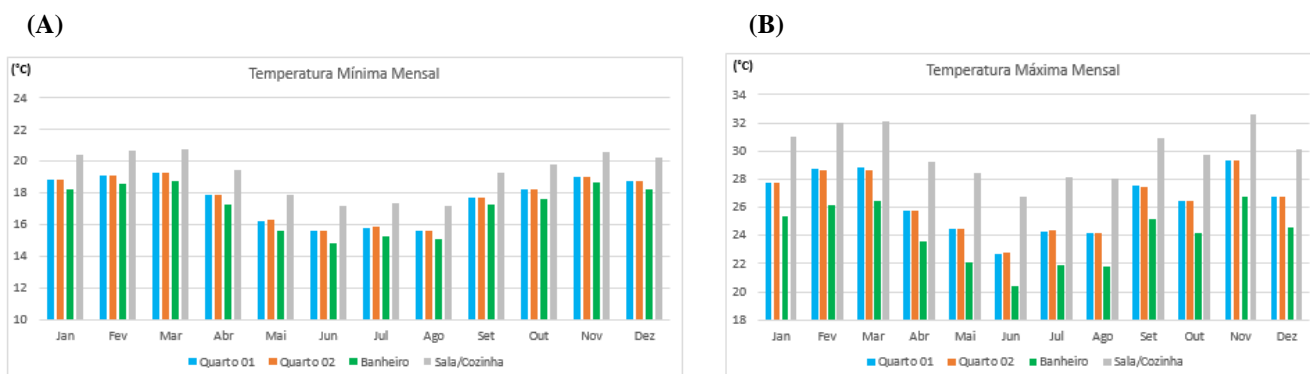


Figura 3 - Temperaturas internas: (A) mínima mensal; (B) máxima mensal - HIS DMT/MG (Adaptado do software EnergyPlus,2018)

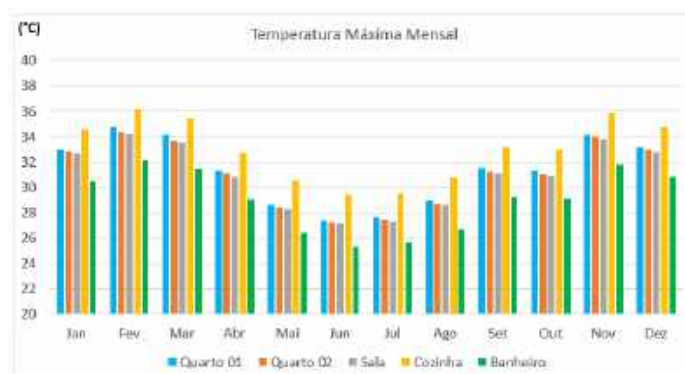


Figura 4 - Temperatura interna máxima mensal - HIS GV/MG (Adaptado do software EnergyPlus,2018).

5. CONCLUSÕES

O método adotado para a realização desse estudo possibilitou a análise do desempenho térmico para dois modelos de HIS unifamiliares térreas situadas em duas zonas bioclimáticas diferentes a partir dos valores obtidos pelo método prescritivo e pelos dados das simulações realizadas para os modelos construtivos, sendo todos os resultados comparados com os critérios especificados pela NBR 15575.

Diante dos dados apresentados nesse trabalho, conclui-se que as tipologias construtivas não devem ser concebidas visando apenas o atendimento aos requisitos de desempenho térmico definidos pela Norma de Desempenho, mas devem ser embasadas principalmente, em estratégias bioclimáticas condizentes com as características climáticas de cada localidade. As informações levantadas também apontaram necessidades de melhoria nos projetos de HIS, uma vez que as envoltórias precisam ser especificadas em função das propriedades térmicas dos materiais e componentes construtivos.

As recomendações inseridas ao longo desse estudo podem ser utilizadas como parâmetro de entrada de projeto, uma vez que a observância de soluções arquitetônicas adequadas aliada à correta seleção dos materiais, contribui com o conforto térmico dos usuários, com o desempenho térmico e com a eficiência energética do ambiente construído.

Portanto, a partir dessa pesquisa, novos estudos poderão ser realizados considerando a implantação de outras tipologias existentes de HIS nas demais zonas bioclimáticas brasileiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: desempenho térmico de edificações - parte 2: método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: desempenho térmico de edificações - parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: edificações habitacionais: desempenho - parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: edificações habitacionais: desempenho - parte 4: requisitos para os Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: edificações habitacionais: desempenho - parte 5: requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013c.

- ARAGAO, Danilton Luis Lima Jesus de; HIROTA, Ercília Hitomi. **Sistematização de requisitos do usuário com o uso da Casa da Qualidade do QFD na etapa de concepção de unidades habitacionais de interesse social no âmbito do Programa Minha Casa, Minha Vida.** Ambient. constr., Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 271-291, Dec. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212016000400271&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 05 Mar. 2019.
- CBIC. **CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Desempenho de Edificações Habitacionais: Guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013.** Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.
- CHVATAL, Karim Maria Soares. **Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações.** Ambient. constr., Porto Alegre, v. 14, n. 4, p.119-134, dez. 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S167886212014000400009&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 05 Mar. 2019.
- COMPONENTES CONSTRUTIVOS. **PROJETEE.** Disponível em: <<http://projeteem.ma.gov.br/componentes-construtivos/>>. Acesso em: 05 Mar. 2019.
- COTTA, Ana Cláudia; ANDERY, Paulo Roberto Pereira. **As alterações no projeto de empresas construtoras e incorporadoras devido à NBR 15575 - Norma de Desempenho.** Ambiente. constr. Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 133-152, mar. 2018. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212018000100133&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 05 mar. 2019.
- FROTA, Anésia Barro. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo.** - 5. ed. - São Paulo: Studio Nobel, 2001.
- GOUVEIA, Hugo Leonardo; SPOSTO, Rosa Maria. **Indicadores de desempenho térmico de vedações verticais externas relacionados com o custo de habitação de interesse social com base na norma de desempenho no Brasil.** RCT - Revista de Ciência e Tecnologia V.2 n.3 (2016) - ISSN 2447-7028. Disponível em: <<https://revista.ufrr.br/rct/article/view/2515>>. Acesso em 05 Mar.2019.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de Clima do Brasil, 2002.** Disponível em: <http://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/climatologia/mapas/brasil/Map_BR_clima_2002.pdf>. Acesso em: 01 de Jul. 2019.
- INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, **Normais Climatológicas do Brasil 1981 - 2010.** Edição digital. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/normais_climatologicas/mobile/index.html#p=1>. Acesso em 31 Mar.2019.
- LAMBERTS, R.; Dutra, L.; Pereira, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura.** [3.ed.] Rio de Janeiro, 2014.
- LAMBERTS, R et al. **Desempenho térmico de edificações.** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.
- LOUZICH, Kellen Melo Dorileo et al. **Absortância de Telhas Cerâmicas Novas e Deterioradas Pela Exposição Às Intempéries: impacto no desempenho térmico de edificações.** XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC, São Paulo, set. 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/311908223_absortancia_de_telhas_ceramicas_novas_e_deterioradas_pela_exposicao_as_intemperies_impacto_no_desempenho_termico_de_edificacoes>. Acesso em 31 Mar.2019.
- RIBAS, R. A. D. J. **Método para avaliação do desempenho térmico e acústico de edificações aplicado em painéis de fechamento industrializados.** Ouro Preto: Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia) - Universidade Federal de Ouro Preto, 2013. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/4383/1/TESE_M%C3%A9todoAvalia%C3%A7%C3%A3oDesempenho.pdf>. Acesso em 05 Mar. 2019.
- SANTOS, Eliziane Isa dos. **Comparação de Métodos para Medição de Absortância Solar em Elementos Opacos.** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2013. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO_Eliziane_iza_dos_santos.pdf>. Acesso em: 05 Mar.2019
- SOARES, Maicon Motta; SILVA, Antônio César Silveira Baptista da. **Análise e compatibilização dos métodos simplificado e por simulação da NBR 15575: zona bioclimática 2.** Ambient. constr., Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 305-327, Mar. 2017. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212017000100305&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 05 Mar. 2019.
- SOARES, Roberta Mulazzani Doleys et al. **Desempenho térmico de habitação social: norma NBR 15575.** Revista de Arquitetura IMED, 5(2): 53-64, jul./dez. 2016 - ISSN 2318-1109. Disponível em: <<https://seer.imed.edu.br/index.php/arqimed/article/view/1382>>. Acesso em: Acesso em 05 Mar. 2019.
- SORGATO, Marcio José et al. **Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais.** Ambient. constr., Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 83-101, Dec. 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212014000400007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 05 Mar. 2019.
- SILVA, Arthur Santos et al. **Incerteza do método de simulação da NBR 15575-1 para a avaliação do desempenho térmico de habitações.** Ambient. constr., Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 103-117, dez. 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212014000400008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 05 Mar. 2019.
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **EnergyPlus Version 8.9.0 Documentation: Getting Started.** DOE, 2018. Disponível em: <https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v8.9.0/GettingStarted.pdf>. Acesso em: 05 Mar. 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à direção das empresas construtoras de ambas HIS, pelo apoio na realização dessa pesquisa.