

DESEMPENHO TÉRMICO EM PAREDES DE ALVENARIA

THERMAL PERFORMANCE OF MASONRY WALLS

Marcelo da Silva Rocha¹

Geraldo Furtado Neto²

RESUMO

O presente artigo se faz sobre uma pesquisa exploratória na qual busca-se avaliar e comparar o desempenho térmico apresentado por três diferentes alvenarias quando expostas a radiação solar da zona bioclimática brasileira Z5. Para isso, foram confeccionadas três paredes de alvenaria para análise, cada uma formada por um sistema de vedação específico, sendo a primeira com tijolos cerâmicos, a segunda com tijolos de solo-cimento e a terceira com blocos de concreto. Cada uma destas alvenarias é colocada dentro de uma caixa isolada termicamente, feita de poliestireno expandido, onde apenas uma face de cada protótipo fica exposta aos raios solares, a qual possui um termômetro para aferição da temperatura que incide sobre esta. Há também um termômetro localizado na face oposta dos modelos, verificando o calor que atravessa cada parede. Diante dos resultados obtidos, pode-se propor alternativas que melhorem o comportamento térmico das edificações, assegurando melhor qualidade de vida aos usuários, redução do consumo de energia elétrica e dos impactos negativos ao meio ambiente. Através deste estudo foi possível perceber que o tijolo ecológico foi o que melhor conseguiu resistir à passagem de calor para o ambiente interno do compartimento isolado, configurando-se com melhor desempenho térmico, ao passo que as alvenarias de tijolo cerâmico e bloco de concreto permitiram maior transferência de calor para o interior do protótipo, não sendo tão eficientes quanto o tijolo de solo-cimento.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Conforto térmico. Temperatura.

ABSTRACT

This article is an exploratory research in which it seeks to evaluate and compare the thermal performance presented by three different masonry when exposed to solar radiation from the Z5 bioclimatic zone. For this, three masonry walls to be analyzed will be made, each formed by a specific sealing system, the first with ceramic bricks, the second with soil-cement bricks and the third with concrete blocks. Each of the aforementioned masonry will be placed inside an expanded polystyrene insulating board, leaving only one face of each prototype exposed to the sun's rays, where there

¹ Rede de Ensino Doctum – Unidade Cataguases – Marcelo-s.n@hotmail.com – graduando em Engenharia Civil

² Rede de Ensino Doctum – Unidade Cataguases – Geraldo.neto@doctum.edu.br (**orientador do trabalho**)

will be a thermometer to measure the temperature on these surfaces. There will also be a thermometer located on the opposite side of the models, checking the heat that passes through each wall. In view of the results obtained, it is possible to propose alternatives that improve the thermal behavior of buildings, ensuring better quality of life for users, reducing electricity consumption and negative impacts on the environment. Through this study it was possible to realize that the ecological brick was the one that best managed to prevent the passage of heat to the internal environment of the isolated compartment, guaranteeing better thermal performance, whereas the brick masonry and concrete block allowed greater heat transfer. to the interior of the prototype, not being as efficient as the soil-cement brick.

Keywords: Thermal performance. Thermal comfort. Temperature.

1. Introdução

Atualmente podemos perceber que as temperaturas no mundo estão sofrendo variações cada vez mais expressivas. Temperaturas baixas estão caindo cada vez mais, enquanto o verão fica mais quente. Diante disso, vemos a importância de que as edificações apresentem bom comportamento térmico. Em regiões quentes, por exemplo, o isolamento térmico deve minimizar a transferência de calor do ambiente externo para o ambiente interno, ao passo que, em regiões frias, este isolamento deve manter o ambiente interno aquecido, proporcionando sensação de conforto aos usuários. De acordo com Ruas (1999), o conforto térmico depende de diversos fatores, como o metabolismo, a vestimenta, a umidade relativa, a temperatura ambiente e a velocidade relativa do ar. “O efeito combinado de todos esses fatores é que determina a sensação de conforto ou desconforto térmico”, caracterizando um fator de influência pessoal.

É importante ressaltar que, para que as condições térmicas proporcionadas pelo ambiente atendam às necessidades do usuário, é necessário que alguns requisitos mínimos sejam cumpridos e, estes podem ser facilmente encontrados na norma de desempenho de edificações NBR 15575 (ABNT, 2013).

Um ambiente mal dimensionado termicamente pode trazer diversos prejuízos de saúde, financeiros e, também ao meio ambiente. Por exemplo, um ambiente de trabalho muito quente produz sensação de incômodo ao funcionário e aumenta seu estresse, reduzindo sua concentração e expondo-o a riscos de acidentes. Além disso,

aumenta o consumo de energia elétrica e a emissão de poluentes. Com intuito de melhorar a qualidade de vida dos usuários e, simultaneamente, minimizar os efeitos das ações do homem sobre o planeta, o desenvolvimento de tecnologias e alternativas sustentáveis se mostram de extrema importância e, por isso, as engenharias buscam constantemente por soluções e inovações que contribuam para este objetivo.

De modo geral, este trabalho foi desenvolvido com objetivo de verificar o desempenho térmico de alvenarias construídas a partir de três tipos de vedações, sendo elas a de tijolos cerâmicos, a de tijolos de solo-cimento e a de blocos de concreto, avaliando dentre estas, quais apresentam os melhores resultados diante das condições climáticas a que serão submetidos.

Quanto aos objetivos específicos, este trabalho busca analisar o desempenho dos diferentes tipos de alvenarias estudadas e propor soluções para melhorar o desempenho térmico das edificações; avaliar se as propostas apresentadas para melhoria do comportamento térmico das edificações se mostraram eficientes; evidenciar a importância da escolha adequada dos materiais e métodos construtivos para o bem-estar humano e mitigação dos impactos sobre o meio-ambiente.

Para esta pesquisa, podemos esperar por três resultados distintos, a primeira situação possível é que o bloco de solo-cimento apresente os melhores resultados, pois os materiais empregados em sua fabricação apresentam melhores características de isolamento térmico. A segunda possibilidade é que o tijolo cerâmico se mostre mais eficiente, uma vez que o mesmo apresenta, em seu interior, diversos furos que permitem maior dissipação de calor. Por fim, a terceira hipótese é que o bloco de concreto não estrutural seja o que melhor dissipou o calor recebido, por conta de suas câmaras internas de maiores dimensões.

Quanto aos aspectos socioeconômicos e ambientais, destaca-se que o emprego de materiais com boas características de isolamento térmico promove benefícios como a redução no consumo de energia elétrica e emissão de poluentes, contribui com a melhoria do bem-estar e do rendimento no trabalho e, ainda, para a conservação da edificação, impedindo a entrada de umidade e a proliferação de fungos e bactérias. Espera-se que este trabalho estimule o desenvolvimento e pesquisa de novos materiais e técnicas construtivas que melhorem a qualidade de vida das pessoas e que seja, ao mesmo tempo, sustentável e econômico.

Academicamente, esta pesquisa se justifica por sua importância, uma vez que permite ao discente aplicar os conhecimentos teóricos adquiridos em sala de aula

durante o período da graduação. Além disso, o graduando tem a oportunidade de conhecer melhor as atividades exercidas por um engenheiro civil, através das práticas realizadas em campo e de pesquisas em trabalhos acadêmicos já realizados.

Por meio de pesquisa experimental, faz-se um estudo comparativo do desempenho térmico entre três diferentes tipos de vedações verticais, através da utilização de três protótipos, sendo as etapas de execução subdivididas, respectivamente, no recebimento dos materiais, montagem dos protótipos, coleta e tratamento dos dados e, finalmente, a verificação das condições de conforto térmico.

2. Referencial teórico

A população atualmente está cada vez mais preocupada com aspectos que envolvem o meio ambiente e, graças a isso, diversos estudos voltados a questões relacionadas a este assunto têm sido desenvolvidos nos últimos anos no mundo inteiro, com objetivo de reduzir os impactos negativos gerados sobre o meio ambiente e desenvolver soluções que proporcionem melhora na qualidade de vida das pessoas.

Devido a relevância do assunto, a presente pesquisa se baseia em estudos já realizados e normas técnicas, de modo a seguir de forma bem estruturada, clara e objetiva. Os assuntos apresentados neste tópico se relacionam a conceitos básicos da física, como a segunda lei da termodinâmica, que trata da transferência de calor e à construção civil, como os sistemas de vedação vertical, que são o objeto de estudo.

Aproveitamento do clima

Gomes (2015) afirma que para um melhor aproveitamento do clima é necessário o planejamento apropriado dos detalhes da edificação, onde a escolha do tipo de construção e *layout* adequados são fatores muito importantes, mas ressalta a orientação correta em relação à posição do sol, assim como a localização das aberturas para melhorar a ventilação cruzada do ambiente.

Conforto térmico

O conceito de conforto térmico proporcionado por um ambiente pode ser definido como:

[...] a sensação de bem-estar experimentada por uma pessoa, como resultado de uma combinação satisfatória, nesse ambiente, da temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura e velocidade relativa do ar com a atividade desenvolvida e a vestimenta utilizada (Ruas, 1999).

Transferência de calor

No que diz respeito aos princípios da termodinâmica quando aplicados à engenharia civil, é preciso conhecer as diferentes formas de transmissão de calor e as propriedades térmicas de cada material. Entender estes princípios básicos auxilia na escolha de um material que oferece melhores resultados nas mais diversas situações, maximizando seus pontos positivos e reduzindo os negativos.

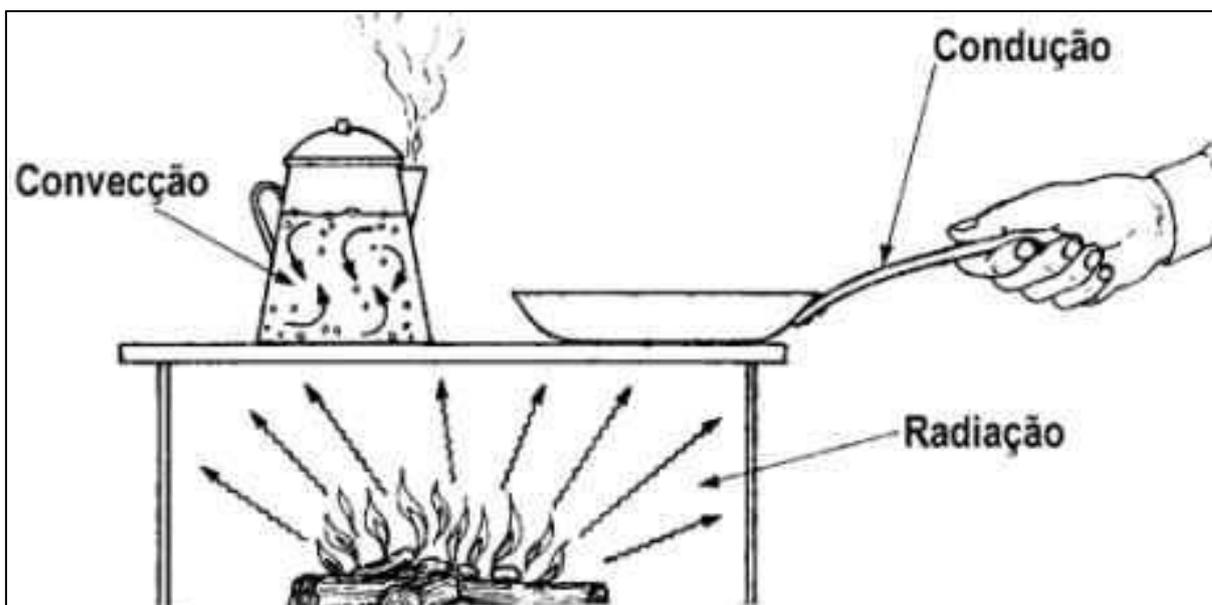
Segundo Turégano e Velasco (2018), os engenheiros buscam estudar o comportamento dos sistemas de transmissão e como estes interagem com o meio externo. Para isso, os sistemas podem ser estudados de um ponto de vista macroscópico ou microscópico, sendo o foco do comportamento macroscópico da termodinâmica voltado ao comportamento global do conjunto, este processo também é conhecido como *termodinâmica clássica* e, mesmo sabendo que o comportamento do sistema é afetado em níveis moleculares, o ponto de vista macroscópico permite avaliar aspectos importantes relacionados ao comportamento do conjunto.

Ainda de acordo com os autores supracitados, a perspectiva microscópica, conhecida como *termodinâmica estatística* faz seus estudos a níveis estruturais da matéria, onde seu objetivo é classificar, a partir de valores estatísticos, o comportamento das partículas que constituem o sistema e correlacionar com o comportamento do conjunto. Os autores também afirmam que, para a grande maioria dos casos, a termodinâmica clássica apresenta resultados suficientemente precisos.

De acordo com Borgnakke e Sonntag (2018), a segunda lei da termodinâmica indica que o fluxo de transferência de calor ocorre em um dado sentido e não no oposto. Como exemplo, os autores citam que “uma xícara de café quente esfria em virtude da transferência de calor com o ambiente, porém o calor não será transferido do ambiente, que apresenta temperatura mais baixa que a do café, para a xícara”, caracterizando que essa transferência ocorre sempre no sentido do corpo de maior temperatura para o de menor.

Antes de proceder à pesquisa, porém, é necessário conhecer os tipos de transferência de calor e suas diferenças. A figura 1 ilustra as três formas de transferência de calor existentes.

Figura 01: Tipos de transferência de calor



Fonte: UFPR (2017).

Condução

Borgnakke e Sonntag (2018) citam em sua obra três formas de transferência de energia sob forma de calor, onde a primeira abordagem se faz sobre o transporte de energia por condução, classificada como a interação entre as moléculas que possuem maior energia (temperatura mais elevada), que transferem parte desta para as moléculas de menor energia (menor temperatura). Este processo pode ser demonstrado através da Lei de Fourier, que apresenta a taxa de transferência de calor por meio da equação a seguir:

$$Q = -K \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (\text{Kcal/h})$$

Onde:

K = Condutividade térmica do material (Kcal/m.°C)

A = Área na qual se dá passagem de calor (m²)

$\frac{dT}{dx}$ = Gradiente de temperatura (°C)

Convecção

Outro meio de transferência explicada pelos autores é a convecção, no qual uma substância fluida em escoamento sobre uma superfície (fluida ou não) e que apresentam níveis energéticos diferentes efetuam troca de energia. No entanto, a transmissão de calor por convecção pura não existe, dependendo do intermédio da

transferência por condução. Para exemplificar este processo os autores citam o escoamento do vento sobre um edifício. Tal processo pode ser expresso pela *lei de Newton do resfriamento*:

$$Q = A \cdot h \cdot \Delta T \quad (\text{W/h})$$

Onde:

A = Área superficial do corpo em contato com o fluido (m²)

h = Coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m²k)

Δ = Diferença de temperatura (°C)

Radiação

O último modo de transferência de calor citado pelos autores é a radiação, que é caracterizada por transmitir a energia por ondas eletromagnéticas no espaço, podendo ocorrer no vácuo, não havendo a necessidade da presença de matéria, somente um meio material para a emissão e absorção de energia.

$$Q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T_s^4 \quad (\text{Kcal/h})$$

Onde:

ε = Emissividade

σ = Constante de Stefan-Boltzmann

A = Área superficial do corpo exposto à radiação (m²)

T_s = Temperatura da superfície

ABNT NBR 15220:2005

A norma NBR 15220 (ABNT, 2005) trata do desempenho térmico de edificações e se divide em cinco seções distintas. Em sua primeira parte define a condutividade térmica como a “propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m², quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro”. Outra definição importante que a norma faz questão de apresentar é o conforto térmico, por sua vez definido como a “satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente”, ou seja é a sensação de bem-estar que o ambiente (edificação) proporciona ao usuário.

Em sua segunda parte, a mesma disponibiliza algumas das propriedades, dispostas em tabelas, de materiais empregados na construção civil. A Tabela 01 apresenta a condutividade térmica de alguns dos materiais referenciados.

Tabela 01: Condutividade térmica dos materiais

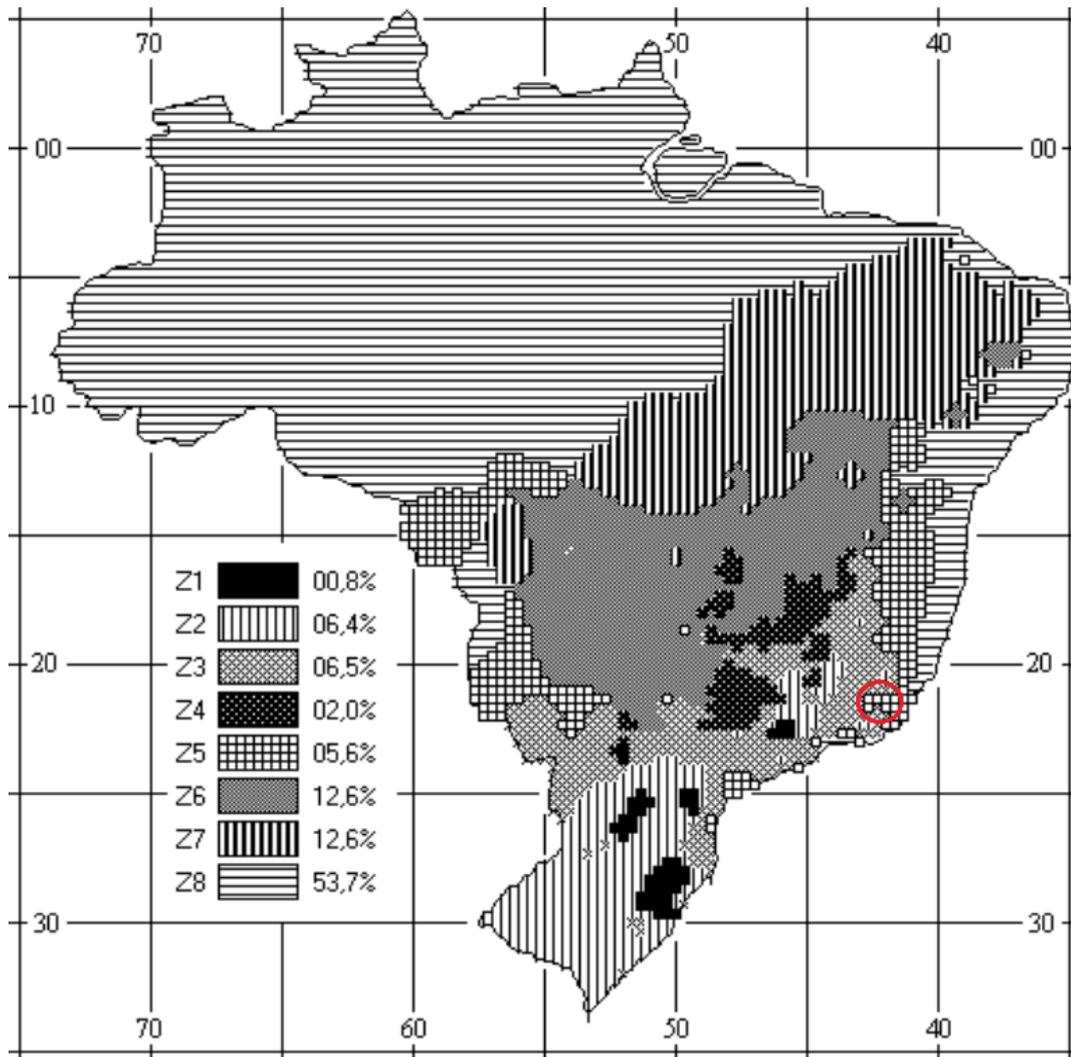
MATERIAL	CONDUTIVIDADE TÉRMICA (W/m.K)
Argamassa comum	1,15
Tijolos	0,7 a 1,05
Concreto	1,75
Gesso	0,25 a 0,5
Brita	0,7
Argila expandida	0,16
Areia seca	0,7
Areia com 10% de umidade	1,33
Asfalto	0,43 a 1,15
Poliestireno expandido	0,040
Madeira cedro e pinus	0,12 a 0,23

Fonte: NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

A norma, porém, informa que os dados apresentados são de caráter indicativos, devendo, sempre que possível, utilizar valores obtidos por ensaios em laboratórios. Além dos dados informados acima, a norma ainda traz os procedimentos para o cálculo da resistência térmica da parede, da transmitância térmica, da capacidade térmica e outros, mas estes não serão abordados neste artigo, uma vez que o objetivo é comparar o comportamento térmico das alvenarias quando expostas aos raios solares.

Na parte três da norma é tratado do zoneamento bioclimático brasileiro, o qual é dividido em oito diferentes zonas, que apresentam diferentes características umas das outras e, portanto, para cada uma destas haverá um conjunto de diretrizes construtivas a ser seguido, de modo a otimizar o desempenho térmico das edificações. Cataguases – MG, que é o local de realização deste estudo, está localizado na zona bioclimática Z5, conforme pode ser visto na Figura 02.

Figura 02: Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: Adaptado da NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

As partes quatro e cinco desta norma tratam, respectivamente, da medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida e da medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

ABNT NBR 15575:2013

A NBR 15575 (ABNT, 2013), por sua vez, é a norma da ABNT que trata do desempenho geral de edificações de até cinco pavimentos, atribuindo classificações quanto a qualidade do desempenho, sendo mínimo (M), intermediário (I) e superior (S). Para a avaliação do desempenho térmico da edificação, estas qualificações devem ser tais que atendam ao disposto na Tabela 02.

Tabela 02: Qualificação do desempenho térmico de edificações

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
I	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2 \text{ }^\circ\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1 \text{ }^\circ\text{C})$
S	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4 \text{ }^\circ\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2 \text{ }^\circ\text{C})$ e $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 1 \text{ }^\circ\text{C})$

$T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação;

$T_{e,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação;

$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação;

$T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação;

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

No item 11 desta norma, intitulado de desempenho térmico, é estabelecido que “a edificação habitacional deve reunir características que atendam às exigências de desempenho térmico, considerando-se a zona bioclimática definida na ABNT NBR 15220-3” e apresenta um procedimento normativo e um informativo para a avaliação da adequação de habitações, conforme descrito na Tabela 03.

Tabela 03: Procedimentos de avaliação do desempenho térmico de edificações

Procedimento 1	Procedimento 2
Simplificado (normativo): atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de vedação e coberturas, da NBR 15575-4 e 15575-5. Nos casos em que a avaliação de transmitância térmica e capacidade térmica não apresentem desempenho térmico satisfatório, o projetista deverá avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo por simulação computacional.	Medição (informativo): verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos nesta NBR 15575-1, por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos. Este método é apenas informativo, não sobrepondo os critérios do item anterior

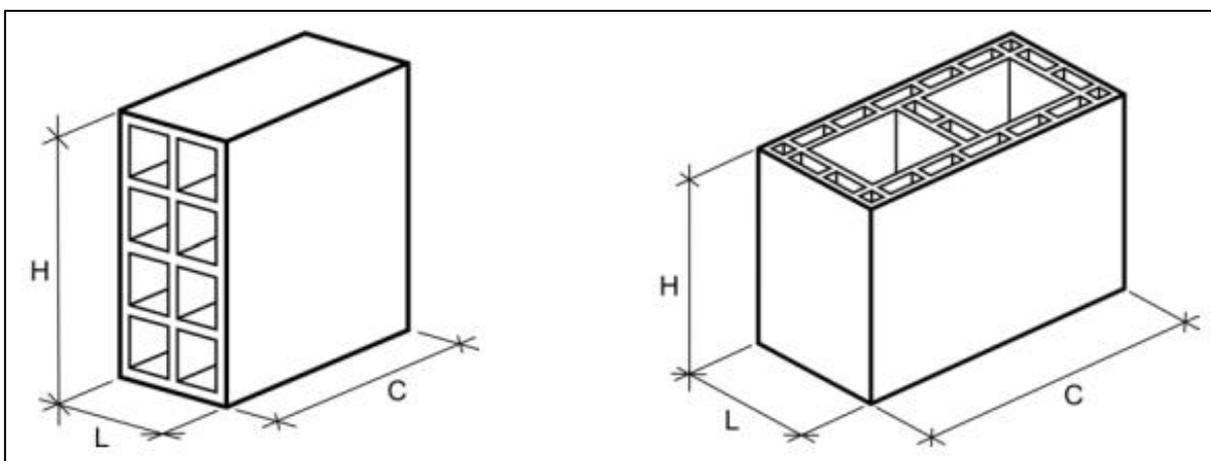
Fonte: Adaptado da NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

A quarta seção da NBR 15575 (ABNT, 2013) traz detalhes acerca do desempenho geral dos sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE). Nela podemos encontrar as exigências e procedimentos de cálculos para avaliação térmica destes sistemas, mas não serão utilizados neste artigo.

ABNT NBR 15270:2005

A NBR 15270 (ABNT, 2005) classifica como bloco cerâmico de vedação o “componente da alvenaria de vedação que possui furos prismáticos perpendiculares às faces que os contêm”. A norma ainda faz um alerta quanto a posição de montagem dos blocos, trazendo duas possibilidades, de acordo com a Figura 03.

Figura 03: Tipos de blocos cerâmicos de acordo com a posição de montagem



Fonte: Adaptado da NBR 15270-2 (ABNT, 2005).

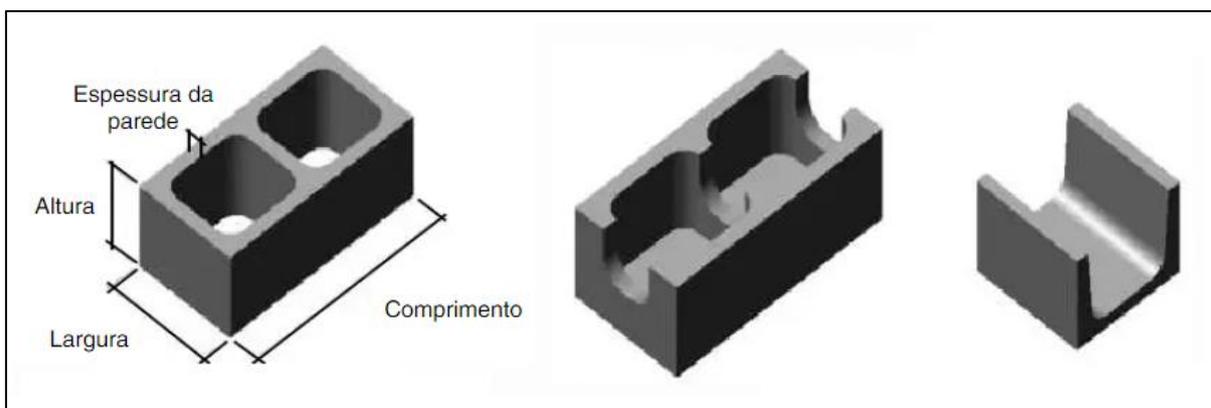
Na primeira imagem podemos ver o bloco produzido para montagem especificamente com os furos dispostos na horizontal. A segunda imagem representa o bloco cerâmico fabricado para a utilização com os furos alinhados na posição vertical.

ABNT NBR 6136:2016

O bloco de concreto, por sua vez, é definido pela NBR 6136 (ABNT, 2014) como “componente de alvenaria cuja área líquida é igual ou inferior a setenta e cinco por cento (75%) de sua área bruta”. Na figura 04 encontram-se representados alguns tipos de blocos de concreto.

Moraes (2011), citado por Fiegenbaum (2018), ressalta que a alvenaria de bloco de concreto caracteriza-se pela melhor qualidade dos blocos, do projeto e do planejamento da produção.

Figura 04: Tipos de blocos de concreto



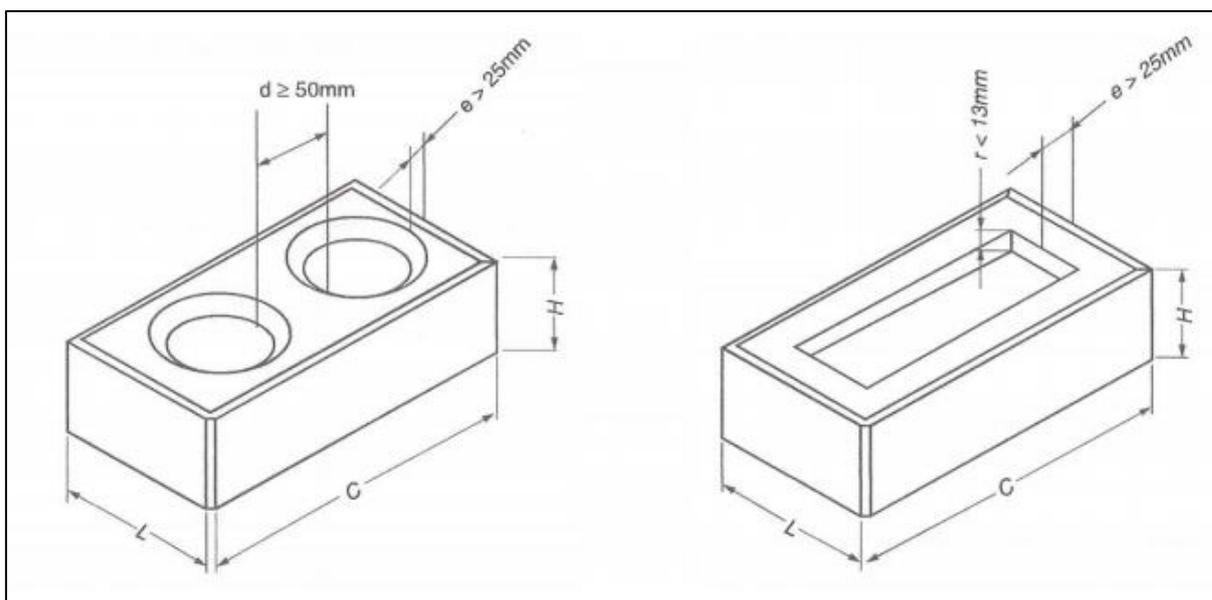
Fonte: Adaptado da NBR 6136 (ABNT, 2014).

ABNT NBR 8491:2012

A norma NBR 8491 (ABNT, 201) define o tijolo de solo-cimento como um “componente de alvenaria constituído de uma mistura homogênea, compacta e endurecida de solo, cimento Portland, água e, eventualmente, aditivos e/ou pigmentos [...]”. Nesta norma são apresentados dois tipos de tijolos solo-cimento, sendo o tijolo vazado e o tijolo maciço, conforme Figura 05.

O tijolo de solo-cimento se apresenta como uma alternativa para suprir uma carência habitacional devido ao baixo custo da construção. Sua montagem é feita por encaixe e dispensa grandes pilares para sustentação da estrutura, garantindo mais agilidade ao longo da construção (Motta et al., 2014). Além dos benefícios anteriores, os autores ainda citam a redução de custos e do consumo de água e energia, além de contribuir para a redução da poluição e, conseqüentemente, a melhora da imagem institucional.

Figura 05: Tipos de tijolos solo-cimento



Fonte: Adaptado da NBR 8491 (ABNT, 2012).

Poliestireno Expandido

O Poliestireno Expandido, marca registrada da Knauf Isopor Ltda., também conhecido como EPS (Expanded Polystyrene) ou Isopor®, é um material reciclável, não poluente, fisicamente estável e isolante da melhor qualidade (TESSARI, 2008).

Tessari (2008) explica que o poliestireno expandido constitui-se, em sua maior parte, de células fechadas cheias de ar, o que lhe garante as propriedades de extrema leveza e isolamento termo-acústico e pontua que nos últimos anos esse material ganhou posição de destaque na construção civil graças as suas características isolantes, sua leveza, resistência e facilidade de manuseio.

3. Metodologia

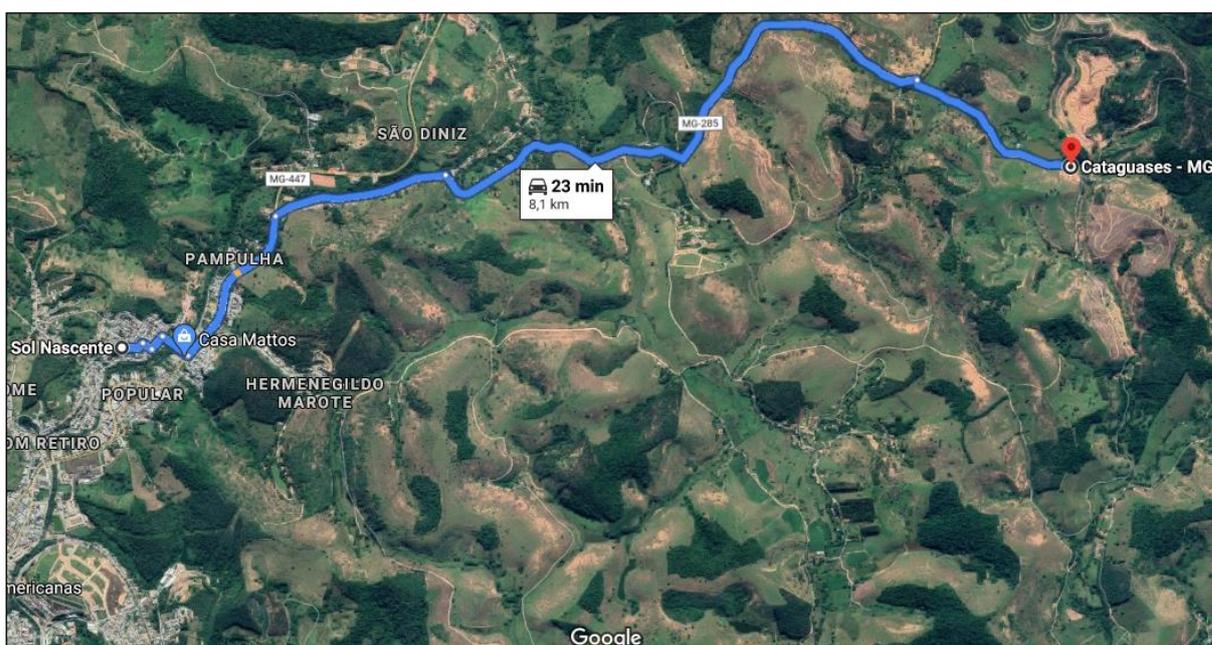
Para a execução desta pesquisa, inicialmente foram realizados estudos bibliográficos de dados referenciais a partir de artigos nacionais e internacionais, reforçado pela leitura de livros, dissertações e normas técnicas relacionados ao tema em assunto. Tais pesquisas garantiram a construção de um referencial teórico de qualidade, o qual permitiu o seguimento objetivo e bem estruturado deste projeto.

Posteriormente, por meio de uma metodologia experimental, o estudo busca avaliar e comparar o desempenho térmico apresentado por diferentes alvenarias de vedação verticais empregadas na região de estudo, através da utilização de protótipos.

Acerca dos requisitos para a confecção e montagem das amostras, os procedimentos foram seguidos conforme recomendações da norma NBR 15575 (ABNT, 2013).

Conforme pode ser observado na Figura 06, apresentada abaixo, o local escolhido para a montagem destes protótipos foi um local na zona rural do município de Cataguases – MG, por apresentar espaço amplo e livre de obstáculos, justamente para proporcionar maior incidência solar.

Figura 06: Planta de situação



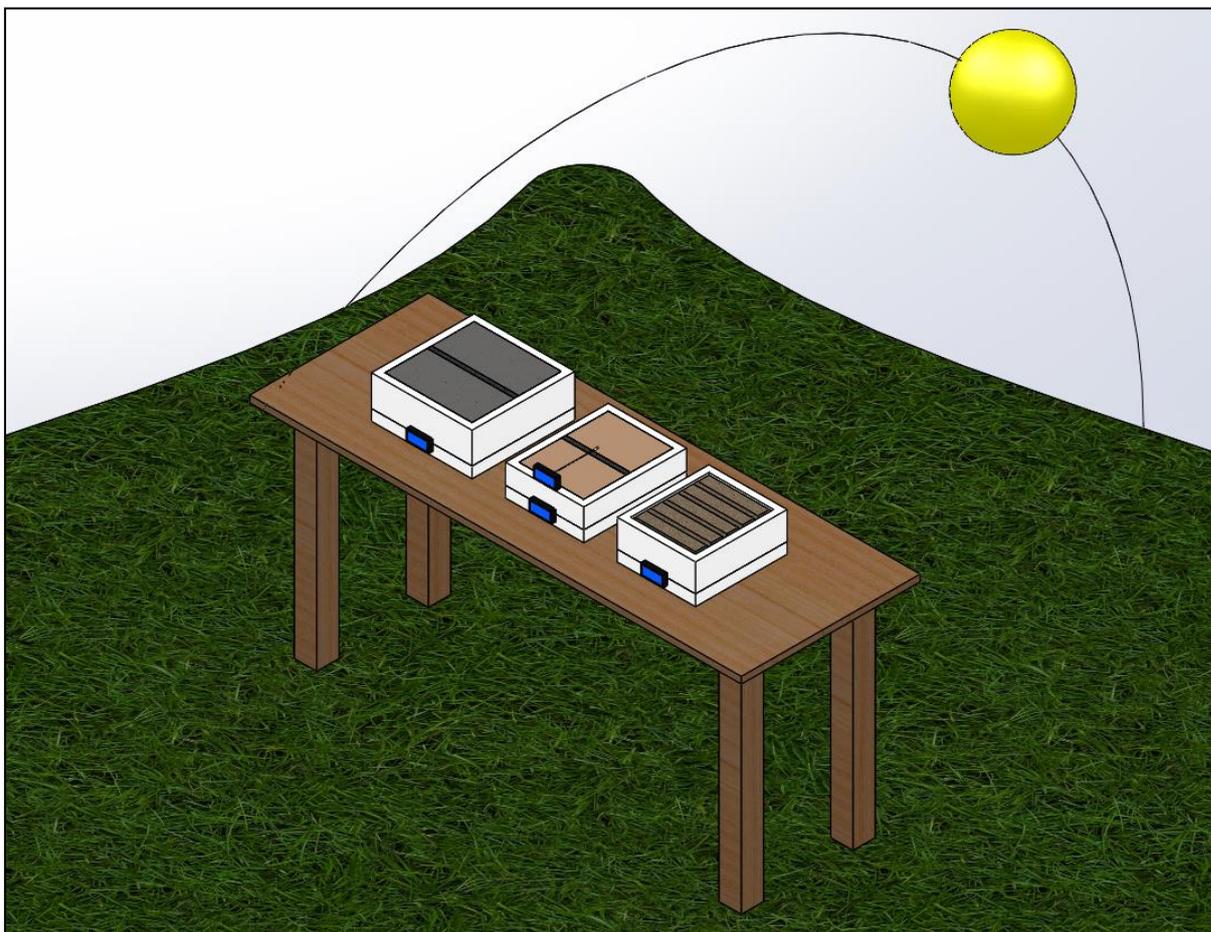
Fonte: Autor (2020).

Com os modelos prontos, sobre uma bancada de testes, cada amostra foi posicionada internamente a um quadro confeccionado de poliestireno expandido (Isopor®) de três centímetros (3 cm) de espessura, deixando apenas uma de suas faces voltada para cima, a qual foi exposta à radiação solar, conforme representado na Figura 07.

Foi posicionado um termômetro sobre a face da alvenaria que fica exposta aos raios solares, o qual é responsável por fazer a verificação do calor que é aplicado sobre os modelos (temperatura de entrada). Simultaneamente, há também um termômetro localizado na base de cada modelo. Estes por sua vez, são responsáveis por aferir a temperatura na face oposta à que recebe os raios do sol (temperatura de

saída). Essa montagem permitiu avaliar e comparar o desempenho térmico apresentado por cada alvenaria estudada

Figura 07: Princípio de funcionamento do estudo



Fonte: Autor (2020).

Os materiais que foram utilizados na construção dos modelos para este estudo são listados na Tabela 04.

Tabela 04: Lista de materiais utilizados na construção dos protótipos

IDENTIFICAÇÃO	QUANTIDADE	MATERIAL
Protótipo 1	2 unid.	Tijolo cerâmico
	3554 cm ²	Poliestireno expandido 3cm
	220 cm ³	Cimento
	440 cm ³	Cal
	2200 cm ³	Areia

Protótipo 2	5 unid 3500 cm ² 1 unid.	Tijolo solo-cimento Poliestireno expandido 3cm Argamassa polimérica
Protótipo 3	2 unid 4224 cm ² 281 cm ³ 562 cm ³ 2810 cm ³	Bloco de concreto não estrutural Poliestireno expandido 3cm Cimento Cal Areia

Fonte: Autor (2020).

Abaixo podemos ver detalhadamente, por meio da figura 08, a disposição de cada protótipo montado sobre a bancada de testes.

Figura 08: Protótipos montados sobre a bancada



Fonte: Autor (2020).

Para a boa execução deste ensaio, foi necessário que uma série de cuidados fossem tomados, como a escolha de um local apropriado, considerando que não poderia haver bloqueios dos raios solares, o posicionamento mais eficiente da bancada, tomando como referência a movimentação do sol, a escolha dos materiais, observando a qualidade dos mesmos e a construção dos modelos de acordo com as especificações do projeto. Na construção dos modelos, os blocos foram assentados utilizando argamassa com traço 1:2:10 (cimento:cal:areia).

Após a construção dos protótipos, os mesmos foram posicionados sobre a bancada e deu-se início a fase de realização dos testes, os quais foram divididos em três partes. A primeira etapa do teste foi realizada com as alvenarias sem revestimento externo. Na segunda etapa, procedeu-se à aplicação de revestimento sobre as paredes, onde os traços utilizados foram de 1:3 (cimento e areia) para o chapisco e 1:2:10 (cimento:cal:areia) para o reboco, com dois centímetros de espessura em cada face. Na última etapa, as superfícies que foram revestidas na fase anterior receberam pintura com a tinta Coral Coralar, na cor Branco Neve. No decorrer de cada uma das etapas citadas acima, todas as variações de temperatura foram registradas através do uso de termômetros que foram montados na parte interna e externa dos protótipos e uma câmera, vide Figura 09.

Figura 09: Instrumentos utilizados para verificação das temperaturas



Fonte: Autor (2020).

Cada etapa deste estudo foi realizada em dois dias seguidos e o tempo de espera entre o término de uma etapa e início da outra foi de sete dias, sendo a coleta dos dados feita a cada cinco minutos, com início às 09:00h e término às 17:00h. Na Tabela 05 constam as informações acerca do processo de medições para cada etapa.

Tabela 05: Detalhes para o procedimento de verificação das temperaturas

ETAPA	PERÍODO (h)	FASE DE REALIZAÇÃO
01	28/10/2020 - 09:00 às 17:00 29/10/2020 - 09:00 às 17:00	Após confecção dos protótipos
02	04/11/2020 - 09:00 às 17:00 05/11/2020 - 09:00 às 17:00	Após aplicação do revestimento externo
03	11/11/2020 - 09:00 às 17:00 12/11/2020 - 09:00 às 17:00	Após aplicação da pintura

Fonte: Autor (2020).

Para auxiliar na organização e interpretação dos resultados, os dados coletados foram transportados para o Microsoft Excel, onde foram gerados gráficos comparativos de desempenho das alvenarias para cada um dos testes realizados.

4. Resultados e discussões

A avaliação dos resultados apresentados pelos protótipos, no que diz respeito ao desempenho térmico, seguiu de acordo com as especificações da norma de desempenho para edificações habitacionais, disponibilizada pela ABNT através da NBR 15575 (ABNT,2013).

Conhecendo os resultados, é possível entender melhor sobre o comportamento dos materiais e propor alternativas que proporcionem melhores condições térmicas para construções futuras, oferecendo mais conforto e segurança, contribuindo ainda para a redução do consumo de energia elétrica, uma vez que reduz a necessidade do uso de aparelhos como condicionadores de ar e aquecedores. Além disso, é possível desenvolver novos tipos de aditivos que podem ser utilizados na confecção dos blocos para melhorar ainda mais suas características.

Conforme exposto no tópico anterior, a medição das temperaturas dos protótipos foi dividida em três etapas e, de posse dos dados, foi possível gerar os gráficos de desempenho, permitindo avaliar quais alvenarias apresentaram os melhores resultados.

Na primeira etapa procedeu-se à tomada das temperaturas dos três protótipos durante os dois dias de teste, conforme disposto no Anexo A. Na Tabela 06 podemos encontrar os valores da mínima e máxima temperatura ambiente registrada nos dias de teste.

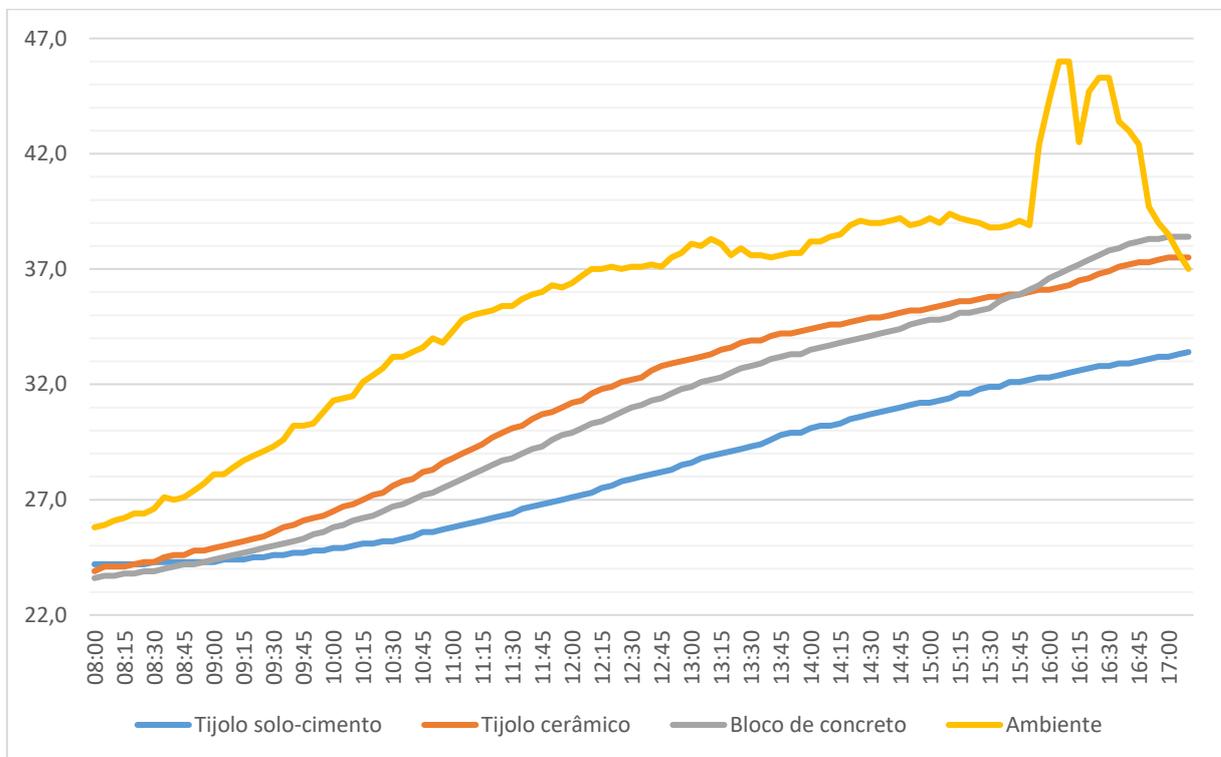
Tabela 06: Temperaturas mínimas e máximas na etapa 01

ETAPA	DATA	TEMP. MÍNIMA	TEMP. MÁXIMA
01	28/10/2020	25,8 °C	46,0 °C
	29/10/2020	27,6 °C	37,2 °C

Fonte: Autor (2020).

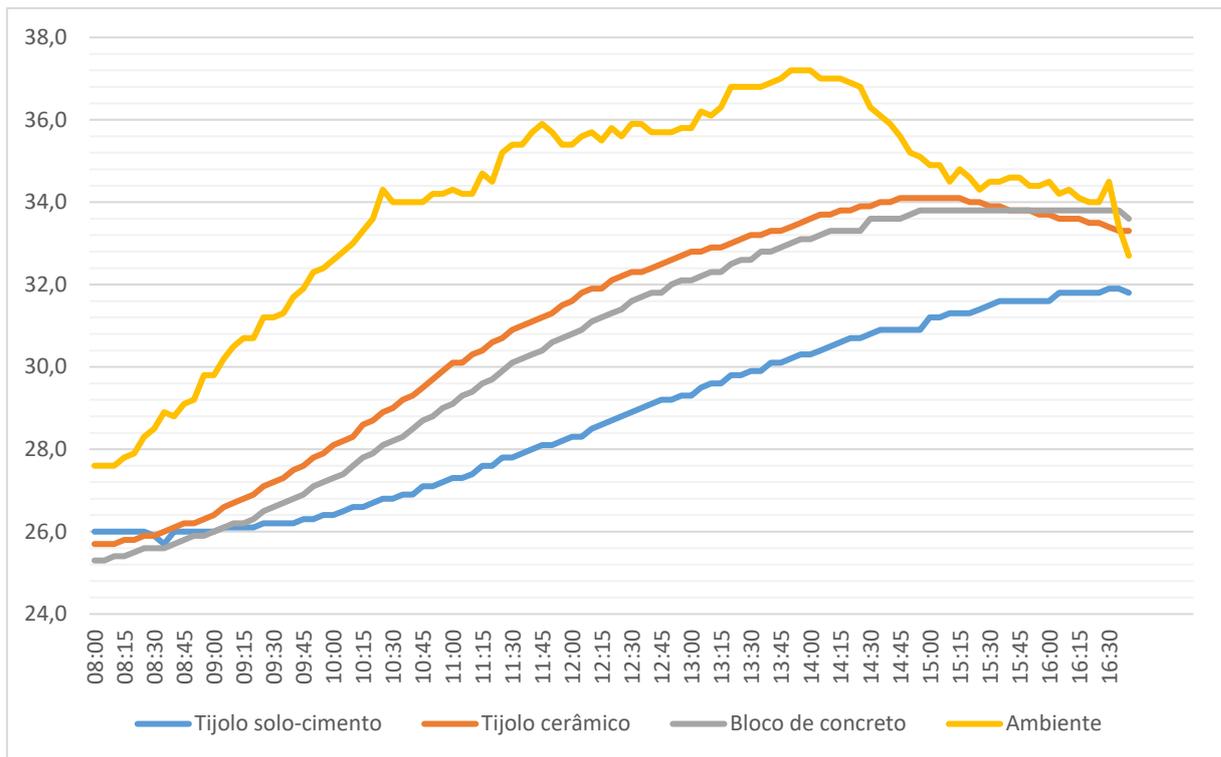
Com os dados obtidos, apresentados no Anexo A, foram gerados os Gráficos 1 e 2, que mostram a variação da temperatura registrada por cada modelo, quando sujeitos às condições mostradas no referido anexo.

Gráfico 01: Temperaturas registradas no dia 28/10/2020 - Etapa 01



Fonte: Autor (2020).

Gráfico 02: Temperaturas registradas no dia 29/10/2020 - Etapa 01



Fonte: Autor (2020).

Através da análise dos gráficos acima, percebe-se que o tijolo de solo-cimento foi o que apresentou o melhor desempenho quando comparado às demais alvenarias estudadas. Ainda, percebe-se uma variação pequena entre as temperaturas registradas para a alvenaria de tijolo cerâmico e a de bloco de concreto ao longo do dia, onde este último apresentou maior temperatura ao fim do estudo.

De outra perspectiva, no entanto, ao analisar o gráfico para o período da manhã, nota-se que o tijolo cerâmico apresenta a temperatura maior que os demais, enquanto o bloco de concreto somente o ultrapassou ao final do período da tarde. Já o tijolo de solo-cimento permanece com as temperaturas mais baixas durante praticamente todo o estudo. Estes resultados nos mostram que os materiais empregados na fabricação do tijolo de solo-cimento apresentam melhores características de isolamento térmico, ou seja, coeficiente de condutividade térmica menor que os demais, o que garante ao material a capacidade de levar mais tempo para elevar sua temperatura e, também, para reduzi-la. Esta característica pode ser verificada através dos dados disponibilizados sobre os materiais pela norma NBR 15220 (ABNT, 2005) e por dados disponíveis em tabelas.

Outra análise que pode ser feita considerando a condutividade térmica dos materiais é que, ao final do período da tarde, a temperatura interna da alvenaria de tijolo cerâmico e de concreto ultrapassaram a temperatura externa, ao passo que o protótipo 1 se manteve abaixo, ou seja, o material cerâmico e o concreto absorvem calor com mais facilidade.

Por fim, podemos observar que as máximas temperaturas não acontecem num mesmo instante. A temperatura externa mais alta ocorre às 16:05 horas, enquanto a maior temperatura interna registrada acontece às 17:00 horas. Tal atraso acontece exatamente porque as paredes têm a função de reduzir e retardar a transferência de calor.

A segunda etapa foi executada de maneira análoga à primeira, sendo os valores das temperaturas foram coletados os durante os dois dias de teste e adicionados ao Excel, vide Anexo B. Nesta etapa a face interna e externa das alvenarias de tijolo cerâmico e de bloco de concreto receberam aplicação de revestimento. Como o tijolo de solo-cimento não necessita deste tipo de acabamento, foi decido não aplicar revestimento sobre suas superfícies. Da mesma forma, foram realizadas as médias das temperaturas registradas, conforme Tabela 07.

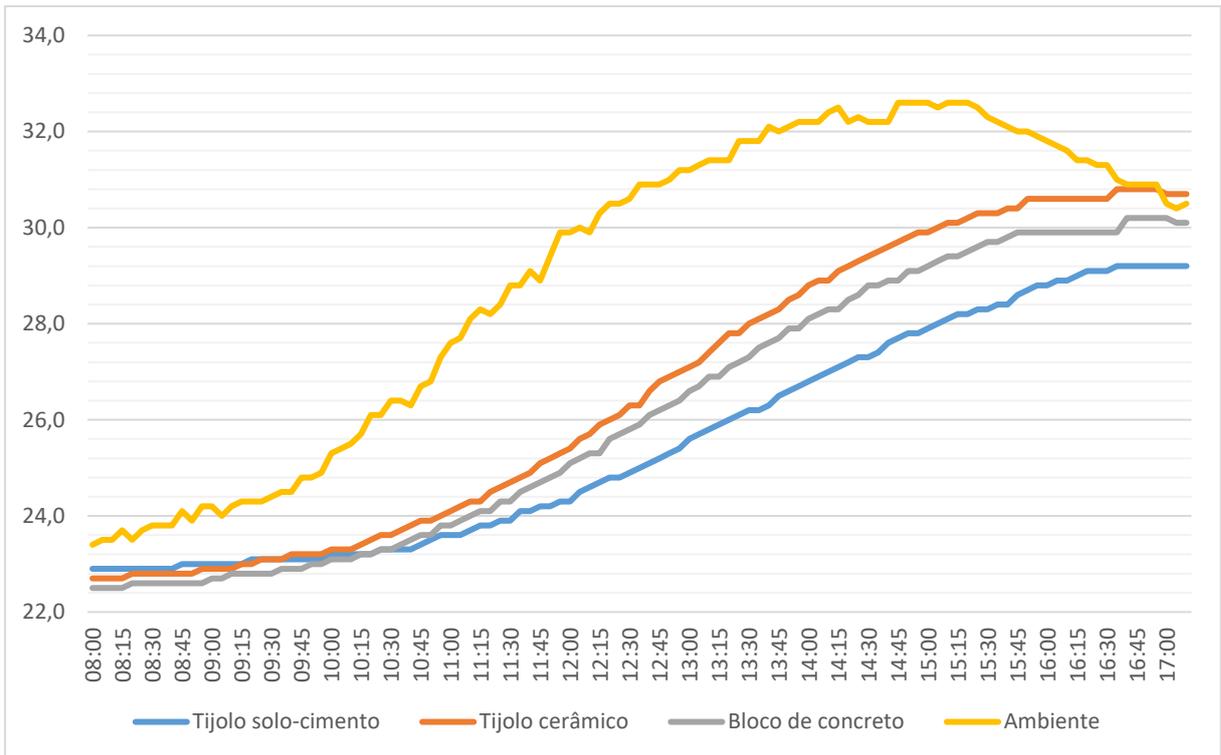
Tabela 07: Temperaturas mínimas e máximas na etapa 02

ETAPA	DATA	TEMP. MÍNIMA	TEMP. MÁXIMA
02	04/11/2020	23,4 °C	33,0 °C
	05/11/2020	20,0 °C	28,3 °C

Fonte: Autor (2020).

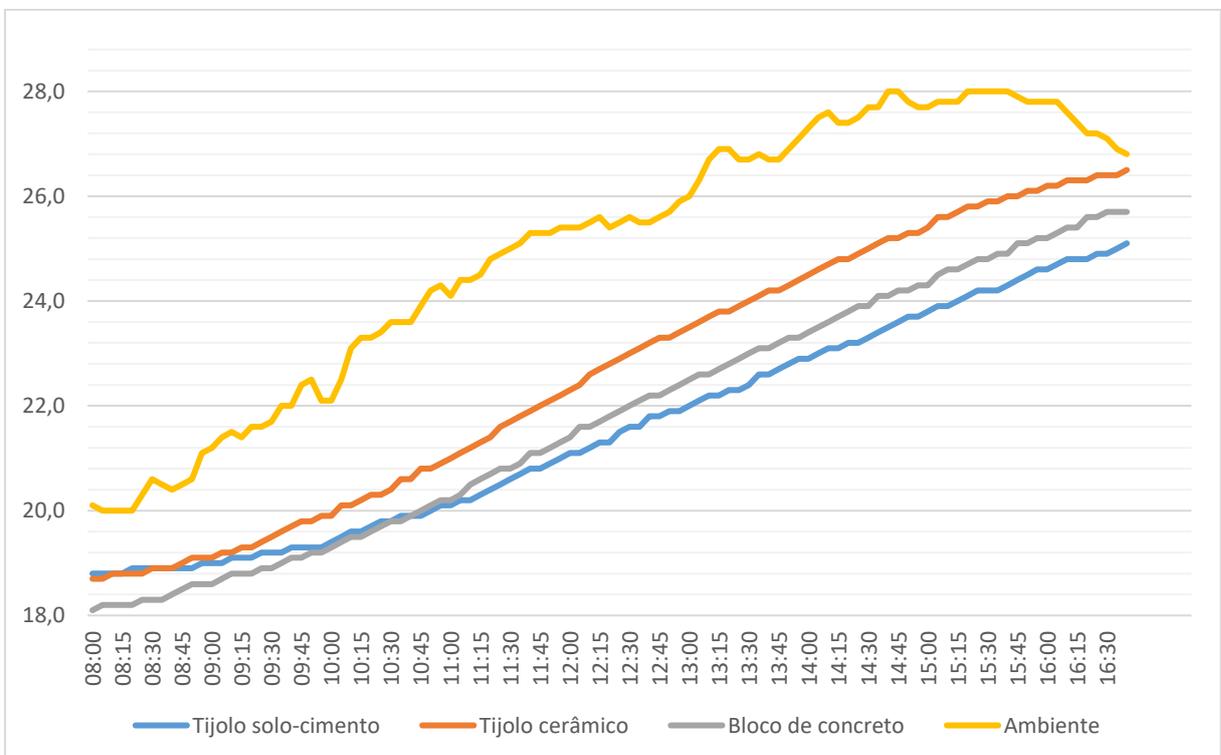
Utilizando os novos dados foram gerados os Gráficos 03 e 04, que são mostrados abaixo.

Gráfico 03: Temperaturas registradas no dia 04/11/2020 - Etapa 02



Fonte: Autor (2020).

Gráfico 04: Temperaturas registradas no dia 05/11/2020 - Etapa 02



Fonte: Autor (2020).

Agora as alvenarias que receberam revestimento apresentaram uma pequena melhora nas temperaturas interna quando comparadas às obtidas na primeira etapa, o que já era esperado, uma vez que estão cerca de quatro centímetros mais espessas. Ainda assim, o tijolo de solo-cimento se mostra mais eficiente no isolamento térmico.

Com relação às outras comparações do gráfico, os mesmos comportamentos analisados na primeira etapa se repetem, onde se alteram apenas os valores.

Na terceira etapa a coleta de dados foi feita após a aplicação da pintura sobre os modelos, sendo que, nessa etapa, todos as alvenarias foram pintadas, inclusive os tijolos de solo-cimento. Da mesma forma que nas etapas anteriores, os dados foram coletados durante os dois dias de teste e posteriormente lançados no Excel, vide Anexo C. As médias das temperaturas podem ser encontradas na Tabela 08.

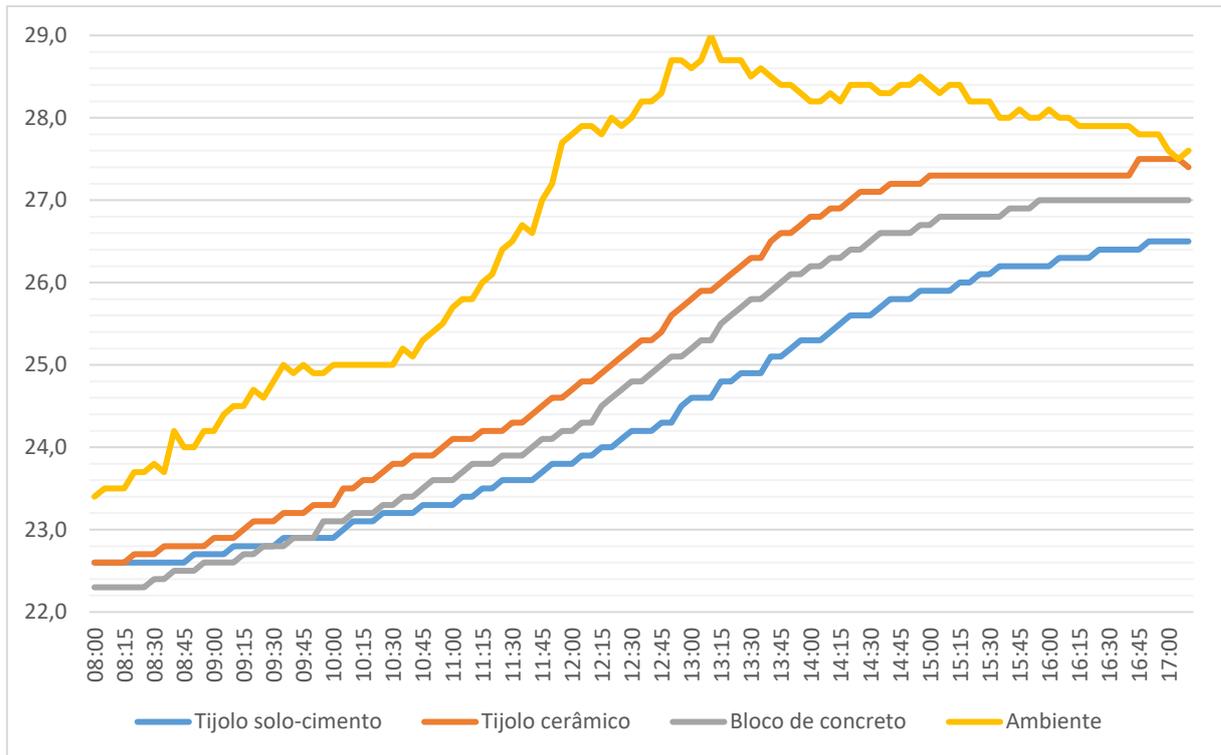
Tabela 08: Temperaturas mínimas e máximas na etapa 03

ETAPA	DATA	TEMP. MÍNIMA	TEMP. MÁXIMA
03	11/11/2020	23,4 °C	29,1 °C
	12/11/2020	23,3 °C	30,1 °C

Fonte: Autor (2020).

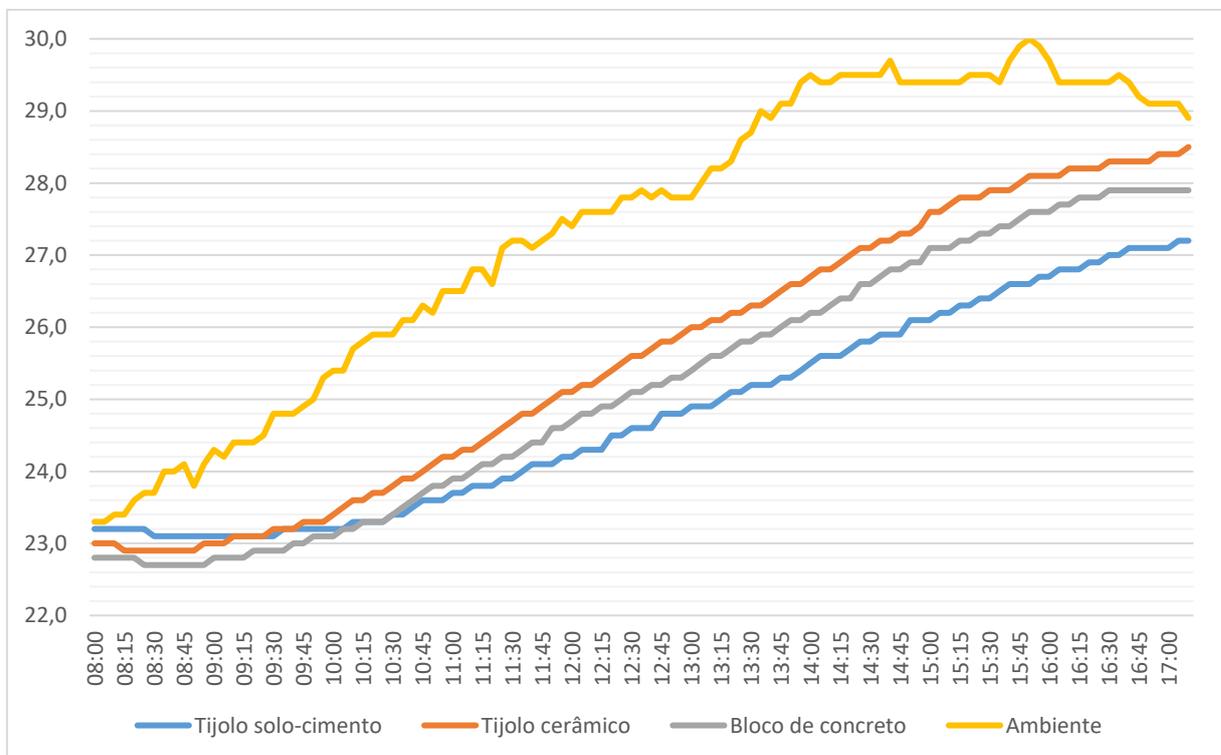
Os dados do Anexo C possibilitaram gerar os Gráficos 05 e 06 abaixo.

Gráfico 05: Temperaturas registradas no dia 11/11/2020 - Etapa 03



Fonte: Autor (2020).

Gráfico 06: Temperaturas registradas no dia 11/11/2020 - Etapa 03



Fonte: Autor (2020).

Nesta etapa observa-se que as variações de temperatura seguem um padrão semelhante ao apresentado nos Gráficos 03 e 04. Por meio deste estudo, não é possível informar o quanto a pintura influencia no desempenho térmico das alvenarias, uma vez que houve variação das condições climáticas acerca da realização destas duas últimas etapas, porém, percebe-se que a variação da temperatura do modelo feito de tijolo cerâmico na segunda etapa, às 13:00h, por exemplo, era de 27,1 °C, enquanto, aplicando a mesma análise para a terceira etapa, a temperatura caiu para 25,8 °C.

5. Considerações finais

Atualmente a busca pelo conforto térmico é crescente e, por isso, é de fundamental importância a adoção de materiais e métodos construtivos adequados a cada projeto.

As análises realizadas permitem evidenciar que, apesar das variações encontradas nos gráficos de desempenho mostrados anteriormente, das alvenarias estudadas, pode-se concluir que todas apresentam características térmicas que permitem sua utilização como elementos de vedação vertical. Obviamente, a capacidade térmica de cada alvenaria irá variar de acordo com as propriedades dos materiais utilizados em sua fabricação.

De acordo com os critérios da NBR 15575 (ABNT, 2013), todos os sistemas estudados apresentam propriedades térmicas que as enquadram no nível de desempenho superior. Entretanto, diante dos resultados apresentados, percebe-se uma diferença pequena de temperatura entre a alvenaria de tijolo cerâmico e a de bloco de concreto em todas as etapas de testes, isto significa que estes dois apresentam pouca variação no comportamento térmico de uma construção.

A alvenaria construída com tijolo ecológico, por sua vez, apresenta temperatura interna mais baixa em todas as etapas avaliadas quando comparada aos outros sistemas analisados. Diante de tais resultados, percebe-se então, que a alvenaria de tijolo solo-cimento é mais eficiente no isolamento térmico quando utilizado em regiões com características da zona bioclimática brasileira Z5.

6. Referências bibliográficas:

FIGENBAUM, A. *Análise comparativa de isolamento térmico entre painéis pré-moldados, alvenaria de vedação de blocos de concreto e blocos cerâmicos para fins de conforto térmico*. 2018. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2018. Acesso em 16 de junho de 2020.

GOMES, E. *Desempenho térmico de alvenarias: Uma alternativa com o uso de blocos EVA*. 2015. Dissertação (Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2015. Acesso em 25 de junho de 2020.

GOMES, Emmily Gersica Santos; MELO, Alúcio Braz de. *Caracterização do fluxo de calor em alvenaria com blocos EVA*. SBU – Sistema de bibliotecas da Unicamp, São Paulo, n. 4, p. 290-304, 2018.

POÇAS, J. *Estudo do comportamento térmico e mecânico em paredes de alvenaria*. 2008. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2008. Acesso em 13 de fevereiro de 2020.

SANTOS, J. C. P., et al. *Comportamento térmico de fechamentos em alvenaria estrutural para a Zona Bioclimática 2 brasileira*. Revista Matéria, São Leopoldo, n. 4, p. 1030-1047, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-1 – **Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2 – **Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3 – **Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-4 – **Desempenho térmico de edificações Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-5 – **Desempenho térmico de edificações Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-1 - **Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1 – **Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-3 – **Edificações habitacionais – Desempenho Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-4 – **Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-5 – **Edificações habitacionais — Desempenho Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6136 – **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6136 – **Tijolo de solo-cimento — Requisitos**. Rio de Janeiro, 2012.

Anexos:

Anexo A: Medições dos protótipos na etapa 01

Quarta-feira, 28 de outubro de 2020				
Hora (h)	Temperatura (°C)			
	Eco.	Cerâm.	Conc.	Amb.
08:00	24,2	23,9	23,6	25,8
08:05	24,2	24,1	23,7	25,9
08:10	24,2	24,1	23,7	26,1
08:15	24,2	24,1	23,8	26,2
08:20	24,2	24,2	23,8	26,4
08:25	24,2	24,3	23,9	26,4
08:30	24,3	24,3	23,9	26,6
08:35	24,3	24,5	24,0	27,1
08:40	24,3	24,6	24,1	27,0
08:45	24,3	24,6	24,2	27,1
08:50	24,3	24,8	24,2	27,4
08:55	24,3	24,8	24,3	27,7
09:00	24,3	24,9	24,4	28,1
09:05	24,4	25,0	24,5	28,1
09:10	24,4	25,1	24,6	28,4
09:15	24,4	25,2	24,7	28,7
09:20	24,5	25,3	24,8	28,9
09:25	24,5	25,4	24,9	29,1
09:30	24,6	25,6	25,0	29,3
09:35	24,6	25,8	25,1	29,6
09:40	24,7	25,9	25,2	30,2
09:45	24,7	26,1	25,3	30,2
09:50	24,8	26,2	25,5	30,3
09:55	24,8	26,3	25,6	30,8
10:00	24,9	26,5	25,8	31,3
10:05	24,9	26,7	25,9	31,4
10:10	25,0	26,8	26,1	31,5
10:15	25,1	27,0	26,2	32,1
10:20	25,1	27,2	26,3	32,4
10:25	25,2	27,3	26,5	32,7
10:30	25,2	27,6	26,7	33,2
10:35	25,3	27,8	26,8	33,2
10:40	25,4	27,9	27,0	33,4
10:45	25,6	28,2	27,2	33,6
10:50	25,6	28,3	27,3	34,0
10:55	25,7	28,6	27,5	33,8
11:00	25,8	28,8	27,7	34,3
11:05	25,9	29,0	27,9	34,8
11:10	26,0	29,2	28,1	35,0

Quinta-feira, 29 de outubro de 2020				
Hora (h)	Temperatura (°C)			
	Eco.	Cerâm.	Conc.	Amb.
08:00	26,0	25,7	25,3	27,6
08:05	26,0	25,7	25,3	27,6
08:10	26,0	25,7	25,4	27,6
08:15	26,0	25,8	25,4	27,8
08:20	26,0	25,8	25,5	27,9
08:25	26,0	25,9	25,6	28,3
08:30	25,9	25,9	25,6	28,5
08:35	25,7	26,0	25,6	28,9
08:40	26,0	26,1	25,7	28,8
08:45	26,0	26,2	25,8	29,1
08:50	26,0	26,2	25,9	29,2
08:55	26,0	26,3	25,9	29,8
09:00	26,0	26,4	26,0	29,8
09:05	26,1	26,6	26,1	30,2
09:10	26,1	26,7	26,2	30,5
09:15	26,1	26,8	26,2	30,7
09:20	26,1	26,9	26,3	30,7
09:25	26,2	27,1	26,5	31,2
09:30	26,2	27,2	26,6	31,2
09:35	26,2	27,3	26,7	31,3
09:40	26,2	27,5	26,8	31,7
09:45	26,3	27,6	26,9	31,9
09:50	26,3	27,8	27,1	32,3
09:55	26,4	27,9	27,2	32,4
10:00	26,4	28,1	27,3	32,6
10:05	26,5	28,2	27,4	32,8
10:10	26,6	28,3	27,6	33,0
10:15	26,6	28,6	27,8	33,3
10:20	26,7	28,7	27,9	33,6
10:25	26,8	28,9	28,1	34,3
10:30	26,8	29,0	28,2	34,0
10:35	26,9	29,2	28,3	34,0
10:40	26,9	29,3	28,5	34,0
10:45	27,1	29,5	28,7	34,0
10:50	27,1	29,7	28,8	34,2
10:55	27,2	29,9	29,0	34,2
11:00	27,3	30,1	29,1	34,3
11:05	27,3	30,1	29,3	34,2
11:10	27,4	30,3	29,4	34,2

11:15	26,1	29,4	28,3	35,1
11:20	26,2	29,7	28,5	35,2
11:25	26,3	29,9	28,7	35,4
11:30	26,4	30,1	28,8	35,4
11:35	26,6	30,2	29,0	35,7
11:40	26,7	30,5	29,2	35,9
11:45	26,8	30,7	29,3	36,0
11:50	26,9	30,8	29,6	36,3
11:55	27,0	31,0	29,8	36,2
12:00	27,1	31,2	29,9	36,4
12:05	27,2	31,3	30,1	36,7
12:10	27,3	31,6	30,3	37,0
12:15	27,5	31,8	30,4	37,0
12:20	27,6	31,9	30,6	37,1
12:25	27,8	32,1	30,8	37,0
12:30	27,9	32,2	31,0	37,1
12:35	28,0	32,3	31,1	37,1
12:40	28,1	32,6	31,3	37,2
12:45	28,2	32,8	31,4	37,1
12:50	28,3	32,9	31,6	37,5
12:55	28,5	33,0	31,8	37,7
13:00	28,6	33,1	31,9	38,1
13:05	28,8	33,2	32,1	38,0
13:10	28,9	33,3	32,2	38,3
13:15	29,0	33,5	32,3	38,1
13:20	29,1	33,6	32,5	37,6
13:25	29,2	33,8	32,7	37,9
13:30	29,3	33,9	32,8	37,6
13:35	29,4	33,9	32,9	37,6
13:40	29,6	34,1	33,1	37,5
13:45	29,8	34,2	33,2	37,6
13:50	29,9	34,2	33,3	37,7
13:55	29,9	34,3	33,3	37,7
14:00	30,1	34,4	33,5	38,2
14:05	30,2	34,5	33,6	38,2
14:10	30,2	34,6	33,7	38,4
14:15	30,3	34,6	33,8	38,5
14:20	30,5	34,7	33,9	38,9
14:25	30,6	34,8	34,0	39,1
14:30	30,7	34,9	34,1	39,0
14:35	30,8	34,9	34,2	39,0
14:40	30,9	35,0	34,3	39,1
14:45	31,0	35,1	34,4	39,2
14:50	31,1	35,2	34,6	38,9
14:55	31,2	35,2	34,7	39,0

11:15	27,6	30,4	29,6	34,7
11:20	27,6	30,6	29,7	34,5
11:25	27,8	30,7	29,9	35,2
11:30	27,8	30,9	30,1	35,4
11:35	27,9	31,0	30,2	35,4
11:40	28,0	31,1	30,3	35,7
11:45	28,1	31,2	30,4	35,9
11:50	28,1	31,3	30,6	35,7
11:55	28,2	31,5	30,7	35,4
12:00	28,3	31,6	30,8	35,4
12:05	28,3	31,8	30,9	35,6
12:10	28,5	31,9	31,1	35,7
12:15	28,6	31,9	31,2	35,5
12:20	28,7	32,1	31,3	35,8
12:25	28,8	32,2	31,4	35,6
12:30	28,9	32,3	31,6	35,9
12:35	29,0	32,3	31,7	35,9
12:40	29,1	32,4	31,8	35,7
12:45	29,2	32,5	31,8	35,7
12:50	29,2	32,6	32,0	35,7
12:55	29,3	32,7	32,1	35,8
13:00	29,3	32,8	32,1	35,8
13:05	29,5	32,8	32,2	36,2
13:10	29,6	32,9	32,3	36,1
13:15	29,6	32,9	32,3	36,3
13:20	29,8	33,0	32,5	36,8
13:25	29,8	33,1	32,6	36,8
13:30	29,9	33,2	32,6	36,8
13:35	29,9	33,2	32,8	36,8
13:40	30,1	33,3	32,8	36,9
13:45	30,1	33,3	32,9	37,0
13:50	30,2	33,4	33,0	37,2
13:55	30,3	33,5	33,1	37,2
14:00	30,3	33,6	33,1	37,2
14:05	30,4	33,7	33,2	37,0
14:10	30,5	33,7	33,3	37,0
14:15	30,6	33,8	33,3	37,0
14:20	30,7	33,8	33,3	36,9
14:25	30,7	33,9	33,3	36,8
14:30	30,8	33,9	33,6	36,3
14:35	30,9	34,0	33,6	36,1
14:40	30,9	34,0	33,6	35,9
14:45	30,9	34,1	33,6	35,6
14:50	30,9	34,1	33,7	35,2
14:55	30,9	34,1	33,8	35,1

15:00	31,2	35,3	34,8	39,2
15:05	31,3	35,4	34,8	39,0
15:10	31,4	35,5	34,9	39,4
15:15	31,6	35,6	35,1	39,2
15:20	31,6	35,6	35,1	39,1
15:25	31,8	35,7	35,2	39,0
15:30	31,9	35,8	35,3	38,8
15:35	31,9	35,8	35,6	38,8
15:40	32,1	35,9	35,8	38,9
15:45	32,1	35,9	35,9	39,1
15:50	32,2	36,0	36,1	38,9
15:55	32,3	36,1	36,3	42,4
16:00	32,3	36,1	36,6	44,3
16:05	32,4	36,2	36,8	46,0
16:10	32,5	36,3	37,0	46,0
16:15	32,6	36,5	37,2	42,5
16:20	32,7	36,6	37,4	44,7
16:25	32,8	36,8	37,6	45,3
16:30	32,8	36,9	37,8	45,3
16:35	32,9	37,1	37,9	43,4
16:40	32,9	37,2	38,1	43,0
16:45	33,0	37,3	38,2	42,4
16:50	33,1	37,3	38,3	39,7
16:55	33,2	37,4	38,3	39,0
17:00	33,2	37,5	38,4	38,5

15:00	31,2	34,1	33,8	34,9
15:05	31,2	34,1	33,8	34,9
15:10	31,3	34,1	33,8	34,5
15:15	31,3	34,1	33,8	34,8
15:20	31,3	34,0	33,8	34,6
15:25	31,4	34,0	33,8	34,3
15:30	31,5	33,9	33,8	34,5
15:35	31,6	33,9	33,8	34,5
15:40	31,6	33,8	33,8	34,6
15:45	31,6	33,8	33,8	34,6
15:50	31,6	33,8	33,8	34,4
15:55	31,6	33,7	33,8	34,4
16:00	31,6	33,7	33,8	34,5
16:05	31,8	33,6	33,8	34,2
16:10	31,8	33,6	33,8	34,3
16:15	31,8	33,6	33,8	34,1
16:20	31,8	33,5	33,8	34,0
16:25	31,8	33,5	33,8	34,0
16:30	31,9	33,4	33,8	34,5
16:35	31,9	33,3	33,8	33,4
16:40	31,8	33,3	33,6	32,7

Anexo B: Medições dos protótipos na etapa 02

Quarta-feira, 4 de novembro de 2020				
Hora (h)	Temperatura (°C)			
	Eco.	Cerâm.	Conc.	Amb.
08:00	22,9	22,7	22,5	23,4
08:05	22,9	22,7	22,5	23,5
08:10	22,9	22,7	22,5	23,5
08:15	22,9	22,7	22,5	23,7
08:20	22,9	22,8	22,6	23,5
08:25	22,9	22,8	22,6	23,7
08:30	22,9	22,8	22,6	23,8
08:35	22,9	22,8	22,6	23,8
08:40	22,9	22,8	22,6	23,8
08:45	23,0	22,8	22,6	24,1
08:50	23,0	22,8	22,6	23,9
08:55	23,0	22,9	22,6	24,2
09:00	23,0	22,9	22,7	24,2

Quinta-feira, 5 de novembro de 2020				
Hora (h)	Temperatura (°C)			
	Eco.	Cerâm.	Conc.	Amb.
08:00	18,8	18,7	18,1	20,1
08:05	18,8	18,7	18,2	20,0
08:10	18,8	18,8	18,2	20,0
08:15	18,8	18,8	18,2	20,0
08:20	18,9	18,8	18,2	20,0
08:25	18,9	18,8	18,3	20,3
08:30	18,9	18,9	18,3	20,6
08:35	18,9	18,9	18,3	20,5
08:40	18,9	18,9	18,4	20,4
08:45	18,9	19,0	18,5	20,5
08:50	18,9	19,1	18,6	20,6
08:55	19,0	19,1	18,6	21,1
09:00	19,0	19,1	18,6	21,2

09:05	23,0	22,9	22,7	24,0
09:10	23,0	22,9	22,8	24,2
09:15	23,0	23,0	22,8	24,3
09:20	23,1	23,0	22,8	24,3
09:25	23,1	23,1	22,8	24,3
09:30	23,1	23,1	22,8	24,4
09:35	23,1	23,1	22,9	24,5
09:40	23,1	23,2	22,9	24,5
09:45	23,1	23,2	22,9	24,8
09:50	23,1	23,2	23,0	24,8
09:55	23,1	23,2	23,0	24,9
10:00	23,2	23,3	23,1	25,3
10:05	23,2	23,3	23,1	25,4
10:10	23,2	23,3	23,1	25,5
10:15	23,2	23,4	23,2	25,7
10:20	23,2	23,5	23,2	26,1
10:25	23,3	23,6	23,3	26,1
10:30	23,3	23,6	23,3	26,4
10:35	23,3	23,7	23,4	26,4
10:40	23,3	23,8	23,5	26,3
10:45	23,4	23,9	23,6	26,7
10:50	23,5	23,9	23,6	26,8
10:55	23,6	24,0	23,8	27,3
11:00	23,6	24,1	23,8	27,6
11:05	23,6	24,2	23,9	27,7
11:10	23,7	24,3	24,0	28,1
11:15	23,8	24,3	24,1	28,3
11:20	23,8	24,5	24,1	28,2
11:25	23,9	24,6	24,3	28,4
11:30	23,9	24,7	24,3	28,8
11:35	24,1	24,8	24,5	28,8
11:40	24,1	24,9	24,6	29,1
11:45	24,2	25,1	24,7	28,9
11:50	24,2	25,2	24,8	29,4
11:55	24,3	25,3	24,9	29,9
12:00	24,3	25,4	25,1	29,9
12:05	24,5	25,6	25,2	30,0
12:10	24,6	25,7	25,3	29,9
12:15	24,7	25,9	25,3	30,3
12:20	24,8	26,0	25,6	30,5
12:25	24,8	26,1	25,7	30,5
12:30	24,9	26,3	25,8	30,6
12:35	25,0	26,3	25,9	30,9
12:40	25,1	26,6	26,1	30,9
12:45	25,2	26,8	26,2	30,9

09:05	19,0	19,2	18,7	21,4
09:10	19,1	19,2	18,8	21,5
09:15	19,1	19,3	18,8	21,4
09:20	19,1	19,3	18,8	21,6
09:25	19,2	19,4	18,9	21,6
09:30	19,2	19,5	18,9	21,7
09:35	19,2	19,6	19,0	22,0
09:40	19,3	19,7	19,1	22,0
09:45	19,3	19,8	19,1	22,4
09:50	19,3	19,8	19,2	22,5
09:55	19,3	19,9	19,2	22,1
10:00	19,4	19,9	19,3	22,1
10:05	19,5	20,1	19,4	22,5
10:10	19,6	20,1	19,5	23,1
10:15	19,6	20,2	19,5	23,3
10:20	19,7	20,3	19,6	23,3
10:25	19,8	20,3	19,7	23,4
10:30	19,8	20,4	19,8	23,6
10:35	19,9	20,6	19,8	23,6
10:40	19,9	20,6	19,9	23,6
10:45	19,9	20,8	20,0	23,9
10:50	20,0	20,8	20,1	24,2
10:55	20,1	20,9	20,2	24,3
11:00	20,1	21,0	20,2	24,1
11:05	20,2	21,1	20,3	24,4
11:10	20,2	21,2	20,5	24,4
11:15	20,3	21,3	20,6	24,5
11:20	20,4	21,4	20,7	24,8
11:25	20,5	21,6	20,8	24,9
11:30	20,6	21,7	20,8	25,0
11:35	20,7	21,8	20,9	25,1
11:40	20,8	21,9	21,1	25,3
11:45	20,8	22,0	21,1	25,3
11:50	20,9	22,1	21,2	25,3
11:55	21,0	22,2	21,3	25,4
12:00	21,1	22,3	21,4	25,4
12:05	21,1	22,4	21,6	25,4
12:10	21,2	22,6	21,6	25,5
12:15	21,3	22,7	21,7	25,6
12:20	21,3	22,8	21,8	25,4
12:25	21,5	22,9	21,9	25,5
12:30	21,6	23,0	22,0	25,6
12:35	21,6	23,1	22,1	25,5
12:40	21,8	23,2	22,2	25,5
12:45	21,8	23,3	22,2	25,6

12:50	25,3	26,9	26,3	31,0
12:55	25,4	27,0	26,4	31,2
13:00	25,6	27,1	26,6	31,2
13:05	25,7	27,2	26,7	31,3
13:10	25,8	27,4	26,9	31,4
13:15	25,9	27,6	26,9	31,4
13:20	26,0	27,8	27,1	31,4
13:25	26,1	27,8	27,2	31,8
13:30	26,2	28,0	27,3	31,8
13:35	26,2	28,1	27,5	31,8
13:40	26,3	28,2	27,6	32,1
13:45	26,5	28,3	27,7	32,0
13:50	26,6	28,5	27,9	32,1
13:55	26,7	28,6	27,9	32,2
14:00	26,8	28,8	28,1	32,2
14:05	26,9	28,9	28,2	32,2
14:10	27,0	28,9	28,3	32,4
14:15	27,1	29,1	28,3	32,5
14:20	27,2	29,2	28,5	32,2
14:25	27,3	29,3	28,6	32,3
14:30	27,3	29,4	28,8	32,2
14:35	27,4	29,5	28,8	32,2
14:40	27,6	29,6	28,9	32,2
14:45	27,7	29,7	28,9	32,6
14:50	27,8	29,8	29,1	32,6
14:55	27,8	29,9	29,1	32,6
15:00	27,9	29,9	29,2	32,6
15:05	28,0	30,0	29,3	32,5
15:10	28,1	30,1	29,4	32,6
15:15	28,2	30,1	29,4	32,6
15:20	28,2	30,2	29,5	32,6
15:25	28,3	30,3	29,6	32,5
15:30	28,3	30,3	29,7	32,3
15:35	28,4	30,3	29,7	32,2
15:40	28,4	30,4	29,8	32,1
15:45	28,6	30,4	29,9	32,0
15:50	28,7	30,6	29,9	32,0
15:55	28,8	30,6	29,9	31,9
16:00	28,8	30,6	29,9	31,8
16:05	28,9	30,6	29,9	31,7
16:10	28,9	30,6	29,9	31,6
16:15	29,0	30,6	29,9	31,4
16:20	29,1	30,6	29,9	31,4
16:25	29,1	30,6	29,9	31,3
16:30	29,1	30,6	29,9	31,3

12:50	21,9	23,3	22,3	25,7
12:55	21,9	23,4	22,4	25,9
13:00	22,0	23,5	22,5	26,0
13:05	22,1	23,6	22,6	26,3
13:10	22,2	23,7	22,6	26,7
13:15	22,2	23,8	22,7	26,9
13:20	22,3	23,8	22,8	26,9
13:25	22,3	23,9	22,9	26,7
13:30	22,4	24,0	23,0	26,7
13:35	22,6	24,1	23,1	26,8
13:40	22,6	24,2	23,1	26,7
13:45	22,7	24,2	23,2	26,7
13:50	22,8	24,3	23,3	26,9
13:55	22,9	24,4	23,3	27,1
14:00	22,9	24,5	23,4	27,3
14:05	23,0	24,6	23,5	27,5
14:10	23,1	24,7	23,6	27,6
14:15	23,1	24,8	23,7	27,4
14:20	23,2	24,8	23,8	27,4
14:25	23,2	24,9	23,9	27,5
14:30	23,3	25,0	23,9	27,7
14:35	23,4	25,1	24,1	27,7
14:40	23,5	25,2	24,1	28,0
14:45	23,6	25,2	24,2	28,0
14:50	23,7	25,3	24,2	27,8
14:55	23,7	25,3	24,3	27,7
15:00	23,8	25,4	24,3	27,7
15:05	23,9	25,6	24,5	27,8
15:10	23,9	25,6	24,6	27,8
15:15	24,0	25,7	24,6	27,8
15:20	24,1	25,8	24,7	28,0
15:25	24,2	25,8	24,8	28,0
15:30	24,2	25,9	24,8	28,0
15:35	24,2	25,9	24,9	28,0
15:40	24,3	26,0	24,9	28,0
15:45	24,4	26,0	25,1	27,9
15:50	24,5	26,1	25,1	27,8
15:55	24,6	26,1	25,2	27,8
16:00	24,6	26,2	25,2	27,8
16:05	24,7	26,2	25,3	27,8
16:10	24,8	26,3	25,4	27,6
16:15	24,8	26,3	25,4	27,4
16:20	24,8	26,3	25,6	27,2
16:25	24,9	26,4	25,6	27,2
16:30	24,9	26,4	25,7	27,1

16:35	29,2	30,8	29,9	31,0
16:40	29,2	30,8	30,2	30,9
16:45	29,2	30,8	30,2	30,9
16:50	29,2	30,8	30,2	30,9
16:55	29,2	30,8	30,2	30,9
17:00	29,2	30,7	30,2	30,5

16:35	25,0	26,4	25,7	26,9
16:40	25,1	26,5	25,7	26,8

Anexo C: Medições dos protótipos na etapa 03

quarta-feira, 11 de novembro de 2020				
Hora (h)	Temperatura (°C)			
	Eco.	Cerâm.	Conc.	Amb.
08:00	22,6	22,6	22,3	23,4
08:05	22,6	22,6	22,3	23,5
08:10	22,6	22,6	22,3	23,5
08:15	22,6	22,6	22,3	23,5
08:20	22,6	22,7	22,3	23,7
08:25	22,6	22,7	22,3	23,7
08:30	22,6	22,7	22,4	23,8
08:35	22,6	22,8	22,4	23,7
08:40	22,6	22,8	22,5	24,2
08:45	22,6	22,8	22,5	24,0
08:50	22,7	22,8	22,5	24,0
08:55	22,7	22,8	22,6	24,2
09:00	22,7	22,9	22,6	24,2
09:05	22,7	22,9	22,6	24,4
09:10	22,8	22,9	22,6	24,5
09:15	22,8	23,0	22,7	24,5
09:20	22,8	23,1	22,7	24,7
09:25	22,8	23,1	22,8	24,6
09:30	22,8	23,1	22,8	24,8
09:35	22,9	23,2	22,8	25,0
09:40	22,9	23,2	22,9	24,9
09:45	22,9	23,2	22,9	25,0
09:50	22,9	23,3	22,9	24,9
09:55	22,9	23,3	23,1	24,9
10:00	22,9	23,3	23,1	25,0
10:05	23,0	23,5	23,1	25,0
10:10	23,1	23,5	23,2	25,0
10:15	23,1	23,6	23,2	25,0
10:20	23,1	23,6	23,2	25,0
10:25	23,2	23,7	23,3	25,0
10:30	23,2	23,8	23,3	25,0
10:35	23,2	23,8	23,4	25,2

quinta-feira, 12 de novembro de 2020				
Hora (h)	Temperatura (°C)			
	Eco.	Cerâm.	Conc.	Amb.
08:00	23,2	23,0	22,8	23,3
08:05	23,2	23,0	22,8	23,3
08:10	23,2	23,0	22,8	23,4
08:15	23,2	22,9	22,8	23,4
08:20	23,2	22,9	22,8	23,6
08:25	23,2	22,9	22,7	23,7
08:30	23,1	22,9	22,7	23,7
08:35	23,1	22,9	22,7	24,0
08:40	23,1	22,9	22,7	24,0
08:45	23,1	22,9	22,7	24,1
08:50	23,1	22,9	22,7	23,8
08:55	23,1	23,0	22,7	24,1
09:00	23,1	23,0	22,8	24,3
09:05	23,1	23,0	22,8	24,2
09:10	23,1	23,1	22,8	24,4
09:15	23,1	23,1	22,8	24,4
09:20	23,1	23,1	22,9	24,4
09:25	23,1	23,1	22,9	24,5
09:30	23,1	23,2	22,9	24,8
09:35	23,2	23,2	22,9	24,8
09:40	23,2	23,2	23,0	24,8
09:45	23,2	23,3	23,0	24,9
09:50	23,2	23,3	23,1	25,0
09:55	23,2	23,3	23,1	25,3
10:00	23,2	23,4	23,1	25,4
10:05	23,2	23,5	23,2	25,4
10:10	23,3	23,6	23,2	25,7
10:15	23,3	23,6	23,3	25,8
10:20	23,3	23,7	23,3	25,9
10:25	23,3	23,7	23,3	25,9
10:30	23,4	23,8	23,4	25,9
10:35	23,4	23,9	23,5	26,1

10:40	23,2	23,9	23,4	25,1
10:45	23,3	23,9	23,5	25,3
10:50	23,3	23,9	23,6	25,4
10:55	23,3	24,0	23,6	25,5
11:00	23,3	24,1	23,6	25,7
11:05	23,4	24,1	23,7	25,8
11:10	23,4	24,1	23,8	25,8
11:15	23,5	24,2	23,8	26,0
11:20	23,5	24,2	23,8	26,1
11:25	23,6	24,2	23,9	26,4
11:30	23,6	24,3	23,9	26,5
11:35	23,6	24,3	23,9	26,7
11:40	23,6	24,4	24,0	26,6
11:45	23,7	24,5	24,1	27,0
11:50	23,8	24,6	24,1	27,2
11:55	23,8	24,6	24,2	27,7
12:00	23,8	24,7	24,2	27,8
12:05	23,9	24,8	24,3	27,9
12:10	23,9	24,8	24,3	27,9
12:15	24,0	24,9	24,5	27,8
12:20	24,0	25,0	24,6	28,0
12:25	24,1	25,1	24,7	27,9
12:30	24,2	25,2	24,8	28,0
12:35	24,2	25,3	24,8	28,2
12:40	24,2	25,3	24,9	28,2
12:45	24,3	25,4	25,0	28,3
12:50	24,3	25,6	25,1	28,7
12:55	24,5	25,7	25,1	28,7
13:00	24,6	25,8	25,2	28,6
13:05	24,6	25,9	25,3	28,7
13:10	24,6	25,9	25,3	29,0
13:15	24,8	26,0	25,5	28,7
13:20	24,8	26,1	25,6	28,7
13:25	24,9	26,2	25,7	28,7
13:30	24,9	26,3	25,8	28,5
13:35	24,9	26,3	25,8	28,6
13:40	25,1	26,5	25,9	28,5
13:45	25,1	26,6	26,0	28,4
13:50	25,2	26,6	26,1	28,4
13:55	25,3	26,7	26,1	28,3
14:00	25,3	26,8	26,2	28,2
14:05	25,3	26,8	26,2	28,2
14:10	25,4	26,9	26,3	28,3
14:15	25,5	26,9	26,3	28,2
14:20	25,6	27,0	26,4	28,4

10:40	23,5	23,9	23,6	26,1
10:45	23,6	24,0	23,7	26,3
10:50	23,6	24,1	23,8	26,2
10:55	23,6	24,2	23,8	26,5
11:00	23,7	24,2	23,9	26,5
11:05	23,7	24,3	23,9	26,5
11:10	23,8	24,3	24,0	26,8
11:15	23,8	24,4	24,1	26,8
11:20	23,8	24,5	24,1	26,6
11:25	23,9	24,6	24,2	27,1
11:30	23,9	24,7	24,2	27,2
11:35	24,0	24,8	24,3	27,2
11:40	24,1	24,8	24,4	27,1
11:45	24,1	24,9	24,4	27,2
11:50	24,1	25,0	24,6	27,3
11:55	24,2	25,1	24,6	27,5
12:00	24,2	25,1	24,7	27,4
12:05	24,3	25,2	24,8	27,6
12:10	24,3	25,2	24,8	27,6
12:15	24,3	25,3	24,9	27,6
12:20	24,5	25,4	24,9	27,6
12:25	24,5	25,5	25,0	27,8
12:30	24,6	25,6	25,1	27,8
12:35	24,6	25,6	25,1	27,9
12:40	24,6	25,7	25,2	27,8
12:45	24,8	25,8	25,2	27,9
12:50	24,8	25,8	25,3	27,8
12:55	24,8	25,9	25,3	27,8
13:00	24,9	26,0	25,4	27,8
13:05	24,9	26,0	25,5	28,0
13:10	24,9	26,1	25,6	28,2
13:15	25,0	26,1	25,6	28,2
13:20	25,1	26,2	25,7	28,3
13:25	25,1	26,2	25,8	28,6
13:30	25,2	26,3	25,8	28,7
13:35	25,2	26,3	25,9	29,0
13:40	25,2	26,4	25,9	28,9
13:45	25,3	26,5	26,0	29,1
13:50	25,3	26,6	26,1	29,1
13:55	25,4	26,6	26,1	29,4
14:00	25,5	26,7	26,2	29,5
14:05	25,6	26,8	26,2	29,4
14:10	25,6	26,8	26,3	29,4
14:15	25,6	26,9	26,4	29,5
14:20	25,7	27,0	26,4	29,5

14:25	25,6	27,1	26,4	28,4
14:30	25,6	27,1	26,5	28,4
14:35	25,7	27,1	26,6	28,3
14:40	25,8	27,2	26,6	28,3
14:45	25,8	27,2	26,6	28,4
14:50	25,8	27,2	26,6	28,4
14:55	25,9	27,2	26,7	28,5
15:00	25,9	27,3	26,7	28,4
15:05	25,9	27,3	26,8	28,3
15:10	25,9	27,3	26,8	28,4
15:15	26,0	27,3	26,8	28,4
15:20	26,0	27,3	26,8	28,2
15:25	26,1	27,3	26,8	28,2
15:30	26,1	27,3	26,8	28,2
15:35	26,2	27,3	26,8	28,0
15:40	26,2	27,3	26,9	28,0
15:45	26,2	27,3	26,9	28,1
15:50	26,2	27,3	26,9	28,0
15:55	26,2	27,3	27,0	28,0
16:00	26,2	27,3	27,0	28,1
16:05	26,3	27,3	27,0	28,0
16:10	26,3	27,3	27,0	28,0
16:15	26,3	27,3	27,0	27,9
16:20	26,3	27,3	27,0	27,9
16:25	26,4	27,3	27,0	27,9
16:30	26,4	27,3	27,0	27,9
16:35	26,4	27,3	27,0	27,9
16:40	26,4	27,3	27,0	27,9
16:45	26,4	27,5	27,0	27,8
16:50	26,5	27,5	27,0	27,8
16:55	26,5	27,5	27,0	27,8
17:00	26,5	27,5	27,0	27,6
17:05	26,5	27,5	27,0	27,5
17:10	26,5	27,4	27,0	27,6

14:25	25,8	27,1	26,6	29,5
14:30	25,8	27,1	26,6	29,5
14:35	25,9	27,2	26,7	29,5
14:40	25,9	27,2	26,8	29,7
14:45	25,9	27,3	26,8	29,4
14:50	26,1	27,3	26,9	29,4
14:55	26,1	27,4	26,9	29,4
15:00	26,1	27,6	27,1	29,4
15:05	26,2	27,6	27,1	29,4
15:10	26,2	27,7	27,1	29,4
15:15	26,3	27,8	27,2	29,4
15:20	26,3	27,8	27,2	29,5
15:25	26,4	27,8	27,3	29,5
15:30	26,4	27,9	27,3	29,5
15:35	26,5	27,9	27,4	29,4
15:40	26,6	27,9	27,4	29,7
15:45	26,6	28,0	27,5	29,9
15:50	26,6	28,1	27,6	30,0
15:55	26,7	28,1	27,6	29,9
16:00	26,7	28,1	27,6	29,7
16:05	26,8	28,1	27,7	29,4
16:10	26,8	28,2	27,7	29,4
16:15	26,8	28,2	27,8	29,4
16:20	26,9	28,2	27,8	29,4
16:25	26,9	28,2	27,8	29,4
16:30	27,0	28,3	27,9	29,4
16:35	27,0	28,3	27,9	29,5
16:40	27,1	28,3	27,9	29,4
16:45	27,1	28,3	27,9	29,2
16:50	27,1	28,3	27,9	29,1
16:55	27,1	28,4	27,9	29,1
17:00	27,1	28,4	27,9	29,1
17:05	27,2	28,4	27,9	29,1
17:10	27,2	28,5	27,9	28,9