

## Paredes de alvenaria estrutural expostas a altas temperaturas com medidas de controle da dilatação

J. Menegon\*<sup>1</sup> , A. G. Graeff<sup>1</sup> , L. C. P. Silva Filho<sup>1</sup> 

\*Autor de Contato: [menegonjulia@gmail.com](mailto:menegonjulia@gmail.com)

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v10i1.440>

Recepção: 24/09/2019 | Aceitação: 11/11/2019 | Publicação: 30/12/2019

### RESUMO

Este estudio evalúa el comportamiento de paredes de bloques estructurales cerámicos a altas temperaturas. Se utilizaron bloques de 14 y 19 cm de ancho, con resistencias de 7 y 10 MPa. Se evaluaron los espesores de las juntas, el mortero para asentamiento y la influencia de revestimiento en la cara expuesta. Se midieron las temperaturas del horno, en el interior y en la superficie de las paredes, la dilatación de los bloques y el aplastamiento de las juntas. Se pudo inferir que las muestras presentaron buen desempeño, manteniendo su estanqueidad, aislamiento y resistencia mecánica. La restricción lateral no ocasionó descascaramiento de los bloques, sin embargo, se pudo observar transferencia de tensión entre ellos para morteros poco flexibles. Las mamposterías de 19 cm de ancho y aquellas revestidas presentaron mejor desempeño térmico.

**Palavras-chave:** altas temperaturas; alvenaria estrutural; paredes de alvenaria; blocos cerâmicos; resistência ao fogo.

**Citar como:** Menegon, J., Gaio Graeff, Â., Silva Filho, L. C. P. (2020), "*Paredes de alvenaria estrutural expostas a altas temperaturas com medidas de controle da dilatação*", Revista ALCONPAT, 10 (1), pp. 97 – 113, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v10i1.440>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

### Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, [alconpat.int@gmail.com](mailto:alconpat.int@gmail.com), Website: [www.alconpat.org](http://www.alconpat.org)

Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de direitos de uso exclusivo, No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antiga estrada para Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

É totalmente proibida a reprodução total ou parcial dos conteúdos e imagens da publicação sem autorização prévia do ALCONPAT International A.C.

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no terceiro número do ano 2020, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do segundo número do ano de 2020.

## Structural masonry walls exposed to high temperatures with thermal expansion control

### ABSTRACT

This study evaluates the behavior of small clay hollow-bricks walls exposed to high temperatures. Blocks measuring 14 and 19 cm thick were used, with strengths of 7 and 10 MPa. The thickness of the joints, the mortar, and the coating influence was evaluated. The temperatures of the furnace, the interior and the surface of the walls, the expansion of the blocks and the crushing of the joints were measured. It was possible to infer that the samples presented good performance, maintaining their integrity, thermal insulation, and load-bearing capacity. The restriction of the boundaries did not cause the spalling of the blocks, however, it was possible to observe the stress transfer to them in samples with rigid joint mortar. The masonry measuring 19 cm wide and the ones with coating showed better thermal performance.

**Keywords:** high temperatures; structural masonry; masonry walls; clay hollow-bricks; fire resistance.

## Paredes de albañilería estructural expuestas a altas temperaturas con medidas de control de dilatación

### RESUMEN

Este estudio evalúa el comportamiento de paredes de bloques estructurales cerámicos a altas temperaturas. Se utilizaron bloques de 14 y 19 cm de ancho, con resistencias de 7 y 10 MPa. Se evaluaron los espesores de las juntas, el mortero para asentamiento y la influencia de revestimiento en la cara expuesta. Se midieron las temperaturas del horno, en el interior y en la superficie de las paredes, la dilatación de los bloques y el aplastamiento de las juntas. Se pudo inferir que las muestras presentaron buen desempeño, manteniendo su estanqueidad, aislamiento y resistencia mecánica. La restricción lateral no ocasionó descascaramiento de los bloques, sin embargo, se pudo observar transferencia de tensión entre ellos para morteros poco flexibles. Las mamposterías de 19 cm de ancho y aquellas revestidas presentaron mejor desempeño térmico.

**Palabras clave:** altas temperaturas; albañilería estructural; paredes de mampostería; bloques cerámicos; resistencia al fuego.

## 1. INTRODUÇÃO

Por muitas vezes, os ensaios exigidos por norma e realizados em laboratório para paredes sob altas temperaturas negligenciam as forças internas que surgem nos elementos, num cenário real, devido às restrições das expansões térmicas induzidas pelo aumento de temperatura (LI et al., 2015). Isso porque, algumas normas, como a brasileira (ABNT, 2001), para realização de ensaio de resistência ao fogo em paredes, estruturais ou não, recomendam que as bordas laterais da amostra analisada tenham sua movimentação livre de restrições, permitindo que se expandam lateralmente.

Porém, normas internacionais, como a ISO 834-4 (1994) e a BS 476 (1987), apesar de sugerirem o uso de bordas verticais livres, permitem que sejam utilizadas restrições laterais, desde que os responsáveis pelo ensaio observem que isso corresponde à situação real a que a parede está submetida. De forma mais específica, a norma britânica supracitada recomenda o uso de restrições das bordas verticais caso a amostra da parede em questão seja menor do que as dimensões reais do elemento, ou ainda se, na prática, esta parede estiver localizada entre pilares robustos. Com base nessas normas e em outros estudos, nota-se que o simples negligenciamento das características

reais das paredes que serão analisadas em laboratório pode distorcer significativamente o resultado final. Shieids et al. (1988), por exemplo, analisaram os diferentes modos de deformação térmica de um modelo de parede de alvenaria de tamanho reduzido e observaram que a máxima deflexão para determinada situação depende das condições de contorno às quais o elemento está submetido, isto é, varia conforme as bordas da amostra têm seus deslocamentos restringidos. Isso também foi observado por Nguyen e Meftah (2012), que, ao medirem as deformações em diversos pontos das paredes ensaiadas, obtiveram deformadas diferentes para diferentes condições de contorno, evidenciando a influência dos vínculos no comportamento térmico do elemento.

A preocupação quanto às restrições aplicadas nas amostras surge a partir do fato de que as forças internas originadas pela dilatação térmica impedida em situações de incêndios reais têm seus efeitos pouco explorados. Em perícia realizada em uma edificação submetida a um incêndio severo, foi possível observar ocorrências de deslocamentos (spalling) de faces de blocos cerâmicos (NAVARRO; AYALA, 2015). Na ocasião, os elementos não possuíam função estrutural. Surge, a partir daí a necessidade de compreender em que circunstâncias tais deslocamentos ocorrem, quais os mecanismos que os desencadeiam e quais as possíveis consequências deste fenômeno no comportamento da estrutura quando a alvenaria possuir função estrutural, visto que tal técnica construtiva é amplamente utilizada em edificações de múltiplos pavimentos.

A motivação deste trabalho, portanto, encontra-se na necessidade de melhor compreender o comportamento de paredes estruturais de alvenaria frente à ação de altas temperaturas, já explorada em outros estudos como os de Souza (2017), Al-Sibahy e Edwards (2013) e Ayala (2010), incluindo o conceito de esforços internos originados pelas restrições das expansões térmicas, de modo que se tenha conhecimento dos danos a que os elementos estão sujeitos em situações reais. Dessa forma o objetivo deste trabalho é analisar o comportamento apresentado por miniparedes de alvenaria ao serem expostas a altas temperaturas e carregamento axial, e terem sua expansão térmica restringida lateralmente, a fim de simular condições próximas da realidade de exposição em uma situação de incêndio.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Foram utilizados para esta pesquisa três tipos diferentes de blocos - de resistências 7 e 10 MPa com 14 cm de largura, e blocos de 7 MPa com 19 cm de largura - todos em material cerâmico (Figura 1). As dimensões e demais características dos blocos estão esquematizadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedade dos blocos cerâmicos utilizados.

| Identificação | Resistência Característica | Dimensões (l x h x c) | Resist. do prisma (argamassa $f_{ak}$ 4MPa) | Área liq/Área bruta |
|---------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------------------------|---------------------|
| <b>B1</b>     | 7 MPa                      | 14 x 19 x 29 cm       | ≈ 3,5 Mpa                                   | ≈ 0,41              |
| <b>B2</b>     | 10 Mpa                     | 14 x 19 x 29 cm       | ≈ 6,0 Mpa                                   | ≈ 0,48              |
| <b>B3</b>     | 7 MPa                      | 19 x 19 x 29 cm       | ≈ 3,0 Mpa                                   | ≈ 0,36              |

Fonte: Adaptado de <http://www.pauluzzi.com.br/produtos.php>

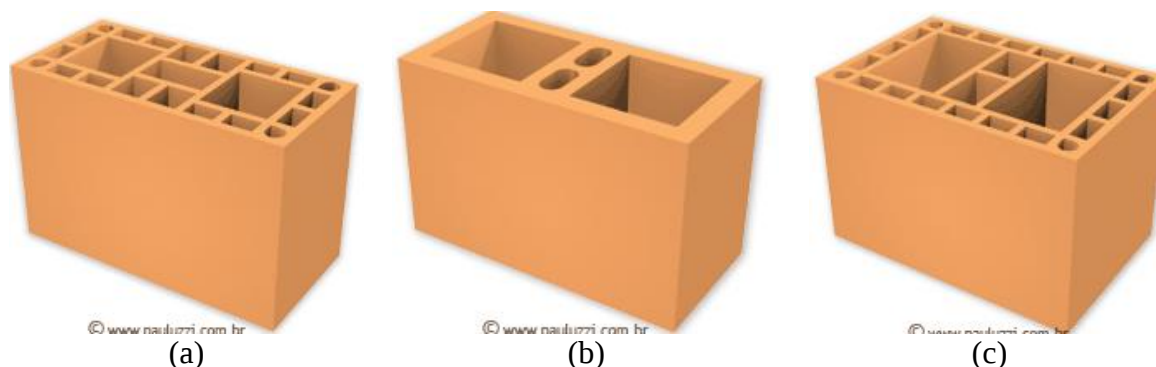


Figura 1 – Blocos estruturais cerâmicos utilizados. (a) B1. (b) B2. (c) B3. (Fonte: <<http://www.pauluzzi.com.br/produtos.php>>)

Para as juntas de assentamento das amostras, foram utilizadas argamassas tradicionais industrializadas com resistências de 4, 6 e 10 MPa – de acordo com o bloco empregado. Também foi avaliada a utilização de argamassa polimérica para assentamento dos blocos, com o intuito de verificar o comportamento da mesma quando submetida ao calor excessivo e à ação de carregamento, observando as consequências para a alvenaria como um todo.

Em uma das etapas da pesquisa, as amostras foram revestidas com argamassa. Foi empregado para o revestimento argamassado material industrializado com cerca de 1 cm de espessura.

## 2.2 Programa experimental

O programa experimental foi realizado em três etapas: na primeira etapa são comparados os três tipos de blocos utilizados; na segunda, são avaliadas para um mesmo bloco as espessuras e resistências das argamassas das juntas e a presença de revestimento; por fim, na terceira etapa avalia-se o uso de argamassa polimérica nas juntas de assentamento. Os detalhes de cada etapa estão descritos a seguir.

### 2.2.1 Primeira Etapa

Na primeira etapa, foram expostas ao ensaio térmico miniparedes com os três diferentes tipos de blocos, com argamassas de assentamento de resistência correspondente a no máximo 70% das resistências características à compressão dos blocos. As juntas de assentamento nessa etapa foram executadas com espessura de  $10 \pm 3$  mm, preenchidas com as argamassas especificadas na Tabela 2, tanto vertical quanto horizontalmente, sem aplicação nenhum tipo de revestimento.

Tabela 2 - Miniparedes da primeira etapa de ensaios – Grupo 01.

| Parede | Bloco utilizado | Argamassa utilizada            | Espessura da junta |
|--------|-----------------|--------------------------------|--------------------|
| P1     | B1              | $f_{ak} \approx 4,0\text{MPa}$ | $10 \pm 3$ mm      |
| P2     | B2              | $f_{ak} \approx 6,0\text{MPa}$ | $10 \pm 3$ mm      |
| P3     | B3              | $f_{ak} \approx 4,0\text{MPa}$ | 10 3 mm            |

### 2.2.2 Segunda Etapa.

Na segunda etapa, somente o bloco B1, de 14 cm de espessura e com resistência de 7 MPa, foi utilizado. Nesta etapa foram avaliadas a espessura das juntas, a argamassa utilizada na execução das amostras e a presença de revestimento.

Em um dos casos (P4), a junta de assentamento horizontal foi reduzida para 5 mm de espessura, mantendo-se a resistência à compressão da argamassa em 4 MPa. Posteriormente, elevou-se a resistência à compressão para 10 MPa, com a espessura da junta mantida em 10 mm (P5).

Por fim, uma última situação foi imposta nesta etapa: a aplicação de revestimento. Em uma amostra executada com as mesmas características de P1, foi aplicada uma camada de 10 mm de espessura de revestimento argamassado. Tal revestimento foi executado somente na face exposta ao fogo, a fim de não prejudicar o posicionamento da instrumentação na face oposta.

Desta forma, mais três configurações de paredes foram ensaiadas e comparadas às amostras P1, conforme exposto na Tabela 3.

Tabela 3. Miniparedes da segunda etapa de ensaios – Grupo 02.

| Parede | Bloco utilizado | Argamassa utilizada                           | Espessura da junta    |
|--------|-----------------|-----------------------------------------------|-----------------------|
| P1     | B1              | $f_{ak} \approx 4,0\text{MPa}$                | $10 \pm 3 \text{ mm}$ |
| P4     | B1              | $f_{ak} \approx 4,0\text{MPa}$                | $\approx 5\text{mm}$  |
| P5     | B1              | $f_{ak} \approx 10,0 \text{ MPa}$             | $10 \pm 3 \text{ mm}$ |
| P6     | B1              | $f_{ak} \approx 4,0\text{MPa}$ e Revestimento | $10 \pm 3 \text{ mm}$ |

### 2.2.3 Terceira Etapa

Para essa etapa de ensaios avaliaram-se amostras construídas com argamassa polimérica na junta de assentamento, em comparação com aquelas construídas com argamassa tradicional. Na construção destas paredes foi utilizado o bloco de 10 MPa (B2), para facilitar a aplicação da argamassa polimérica, já que estes possuem paredes maciças. Desta forma, a comparação foi feita em relação às paredes P2, por terem sido executadas com o mesmo bloco estrutural. As características das amostras são mostradas na Tabela 4.

Salienta-se que, apesar de usualmente as juntas verticais de alvenarias construídas com argamassa polimérica tratarem-se de juntas secas, para a presente pesquisa foi também aplicado o produto verticalmente, visando manter a estanqueidade das miniparedes frente à ação das altas temperaturas e garantir a segurança durante a execução do ensaio.

Tabela 4 - Miniparedes da terceira etapa de ensaios – Grupo 03.

| Parede | Bloco utilizado | Argamassa utilizada            | Espessura da junta    |
|--------|-----------------|--------------------------------|-----------------------|
| P2     | B2              | $f_{ak} \approx 6,0\text{MPa}$ | $10 \pm 3 \text{ mm}$ |
| P7     | B2              | Polimérica                     | -                     |

### 2.3 Miniparedes

As paredes foram construídas com os blocos e argamassas especificados no item 0 e dimensões de 90 x 80 cm, devido às restrições do tamanho do forno, se tratando, portanto, de miniparedes. Estas foram construídas sobre um perfil metálico, de chapa dobrada em forma de U, a fim de facilitar sua movimentação. Para que os carregamentos fossem aplicados e distribuídos de maneira uniforme ao longo da parede, foi realizado capeamento das mesmas, com argamassa rica em cimento, tanto na face superior quanto nas laterais, obtendo-se assim uma superfície plana.

As amostras foram curadas por, no mínimo, 56 dias, para que a umidade presente na argamassa de assentamento fosse reduzida e os resultados não sofressem interferência de efeitos que estariam presentes apenas nas idades iniciais. Da mesma forma, nas amostras que receberam revestimento, o mesmo foi executado depois de decorridos no mínimo 7 dias da construção das miniparedes, e então aguardaram-se mais, ao menos, 56 dias até a realização dos ensaios.

As amostras foram acomodadas para o ensaio dentro de um pórtico de carregamento planejado para resistir aos esforços aplicados e impedir as expansões laterais. Este também foi dimensionado para permitir a aplicação de carregamento vertical distribuído, a fim de simular o carregamento de uma parede estrutural. Trata-se de um quadro feito com perfis de trilhos ferroviários, com dois macacos hidráulicos a ele acoplados: um para aplicação do carregamento vertical e outro para o confinamento lateral. Ambos os macacos foram atrelados a células de carga, para monitoramento

dos incrementos sofridos. O esforço realizado pelos macacos foi distribuído nas faces das paredes por meio de perfis metálicos. O desenho esquemático do equipamento planejado e após montado pode ser visto na Figura 2.

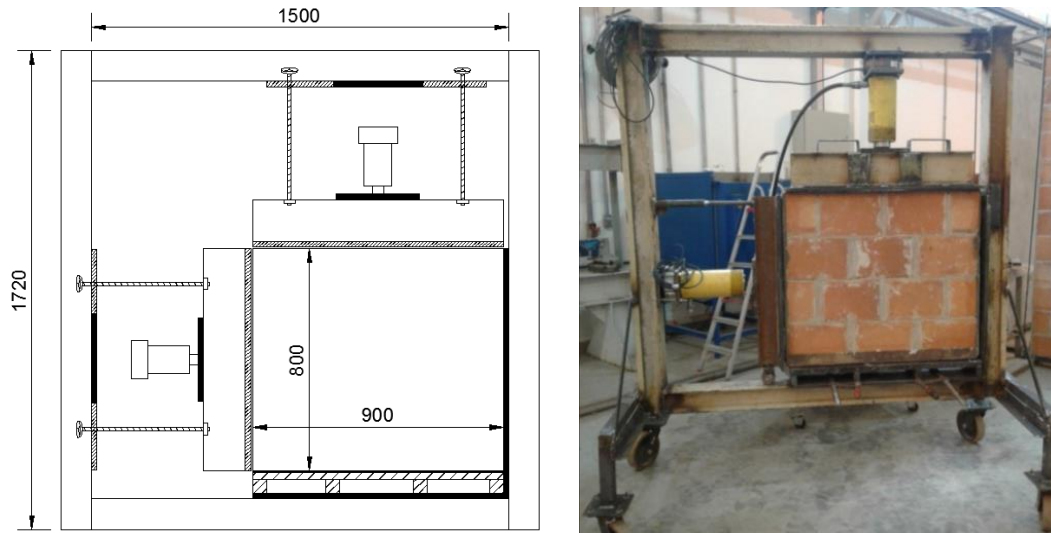


Figura 2. Quadro de reação utilizado para os ensaios.

Uma vez posicionada no quadro de reação, a amostra era acoplada a um forno de resistências elétricas *Sanchis*, de modo que uma de suas faces estivesse sujeita ao aquecimento. Na face não exposta, posicionaram-se os instrumentos para monitoramento de temperatura e deslocamento. A carga aplicada sobre as amostras foi estimada de forma que as mesmas recebessem carregamento de acordo com o que é prescrito pela NBR 6120 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações (ABNT, 1980). Dessa forma, um carregamento de 97,83 kN/m foi aplicado na amostra antes do início do ensaio de resistência ao fogo, sofrendo incrementos, devido às tentativas de expansão, após o início do mesmo.

## 2.4 Temperaturas

Devido às limitações quanto aos equipamentos disponíveis no laboratório, o ensaio previsto pela NBR 5628 (ABNT, 2001) foi adaptado para paredes de pequenas dimensões, que se adequam ao tamanho do forno disponível. A temperatura do forno foi elevada a uma taxa semelhante à curva padrão descrita pela norma supracitada até, no máximo, 950°C, temperatura usualmente atingida durante um incêndio real. As miniparedes foram, então, mantidas em tal exposição de temperatura durante cerca de 4 horas.

Para verificação da estanqueidade das amostras, foi realizado sempre que necessário o teste do chumaço de algodão, descrito pela NBR 5628 (ABNT, 2001). O isolamento térmico foi verificado através do uso de termopares com ponta em disco de cobre para medição da temperatura na face não exposta das amostras, conforme recomendação trazida pela NBR 5628 (ABNT, 2001). Além dos termopares dispostos na face externa das amostras, foram posicionados também termopares do tipo K ao longo da espessura da parede, visando obter valores de temperatura no interior do forno e no interior dos blocos. Foram distribuídos, ao todo, sete termopares, sendo cinco deles na face externa, para o controle de isolamento térmico, e os demais para obtenção das informações adicionais (Figura 3).

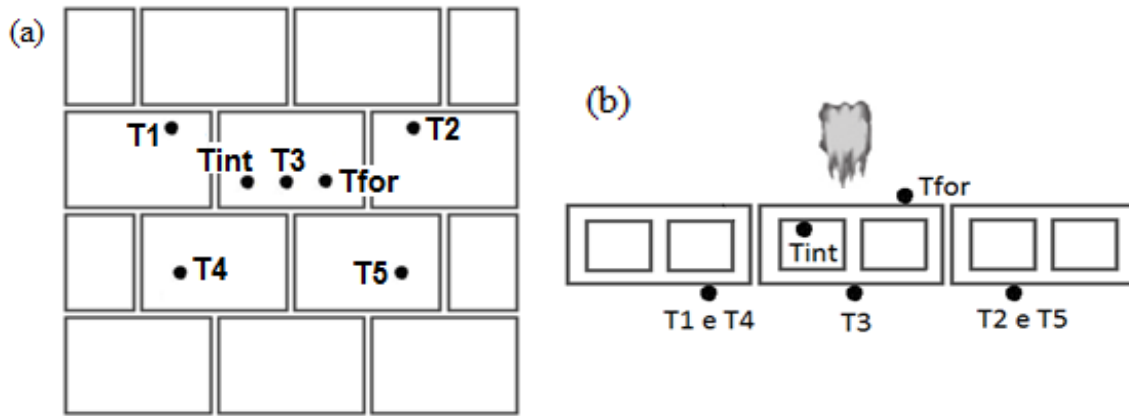


Figura 3. Posição dos termopares nas amostras. (a) Vista frontal. (b) Vista superior.

## 2.5 Deslocamentos Longitudinais

Por meio de transdutores de deslocamento, ou *clip-gages*, posicionados na face não exposta de um bloco na região central das miniparedes, foram medidas as deformações horizontais e verticais durante o aquecimento. Estes dispositivos foram confeccionados com base no que foi utilizado por Beber (2003), e consistem em arcos dotados de extensômetros em suas faces inferior e superior (Figura 4). Esses arcos são fixados à superfície cujos deslocamentos se desejam medir e, então, a deformação específica determinada pelos extensômetros na seção central dos arcos é correlacionada aos deslocamentos relativos entre os pontos A e B fixados.

O afastamento ou aproximação entre diferentes blocos de uma mesma fiada e de fiadas consecutivas também foi medido através do uso de *clip-gages* nas juntas, o que proporciona um indicativo da absorção pela argamassa dos deslocamentos ocorridos pela deformação térmica. O posicionamento dos *clip gages* nas amostras está esquematizado na Figura 4.

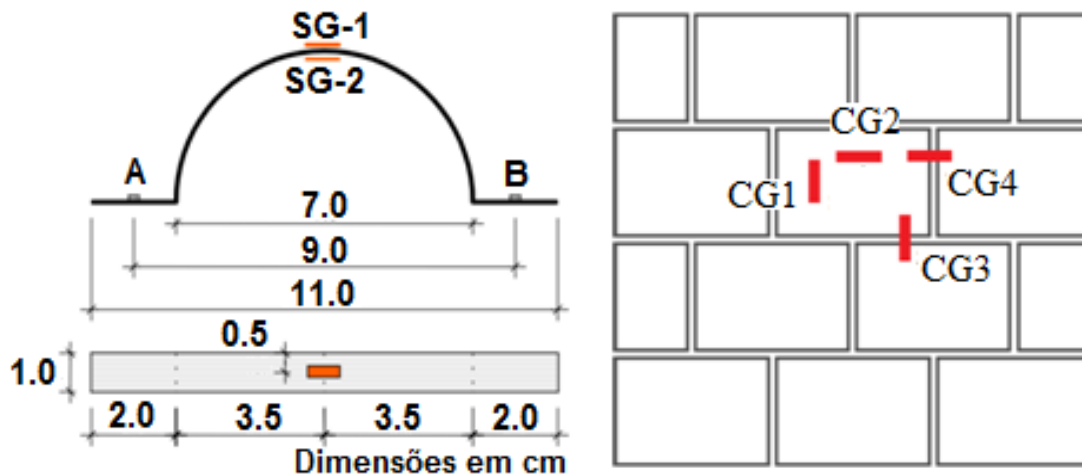


Figura 4. Geometria dos clip-gages (BEBER, 2003) e posicionamento nas paredes.

## 2.6 Termografia

Foi realizada também uma análise termográfica das amostras durante a exposição ao tratamento térmico. A utilização dessa técnica permitiu que fosse feito um mapeamento da temperatura ao longo da superfície das amostras, através da detecção, por meio de uma câmera termográfica FLIR T440, da radiação infravermelha emitida pelas mesmas ao serem aquecidas. Por meio desse equipamento foi possível monitorar a elevação da temperatura ao longo do ensaio, além de identificar zonas de possíveis falhas na alvenaria. Também possibilitou fazer um comparativo da propagação de calor nas diferentes tipologias de alvenarias.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Temperatura ao longo das amostras

A Figura 5 traz a evolução de temperatura no interior dos blocos (Tint) para as três primeiras configurações de parede, visando comparar os três diferentes blocos. Nota-se que para os blocos B1 e B2 os resultados para o termopar intermediário tiveram seu máximo em torno dos 600°C. Já as paredes P3 apresentaram valores inferiores aos 600°C das demais, o que se deu devido ao fato de serem construídas com o bloco B3, mais largo que os demais.

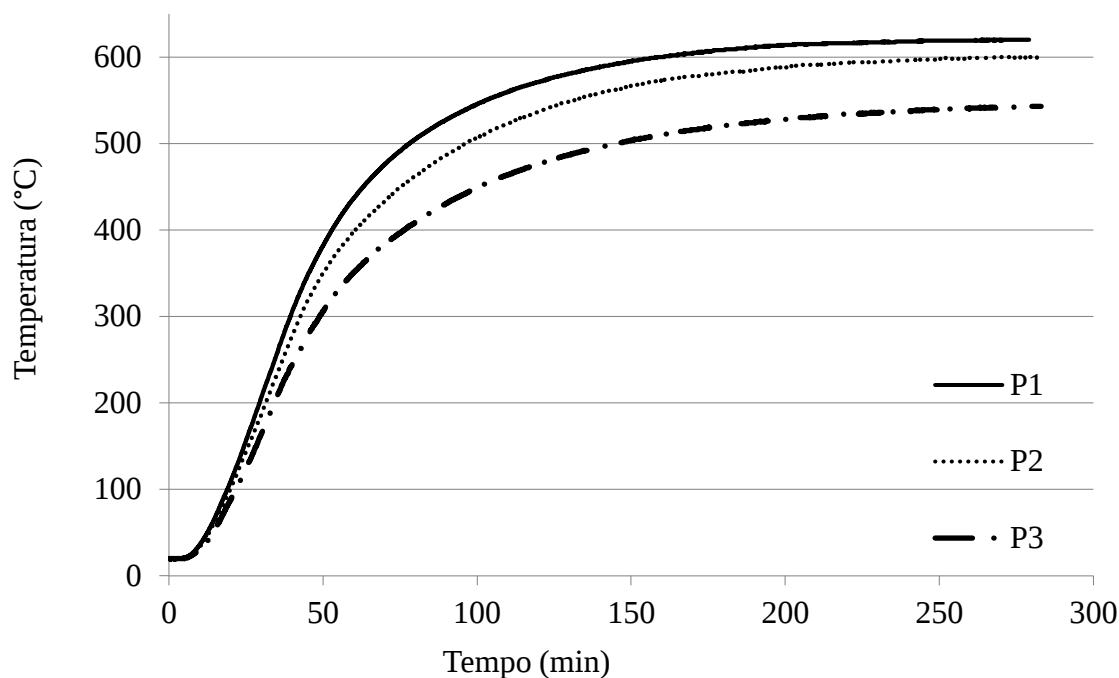


Figura 5. Temperatura no interior da alvenaria para os diferentes tipos de blocos (Grupo 01).

Quando se comparam as amostras da segunda etapa, observa-se pela Figura 6 que a espessura das juntas e a resistência de suas argamassas não exercem influência na transferência de calor, apresentando as paredes P1, P4 e P5 temperaturas no interior dos blocos em torno de 600°C. Ao ser adicionado revestimento na face exposta, no entanto, a redução de temperatura é significativa, atingindo menos de 400°C para as paredes P6.

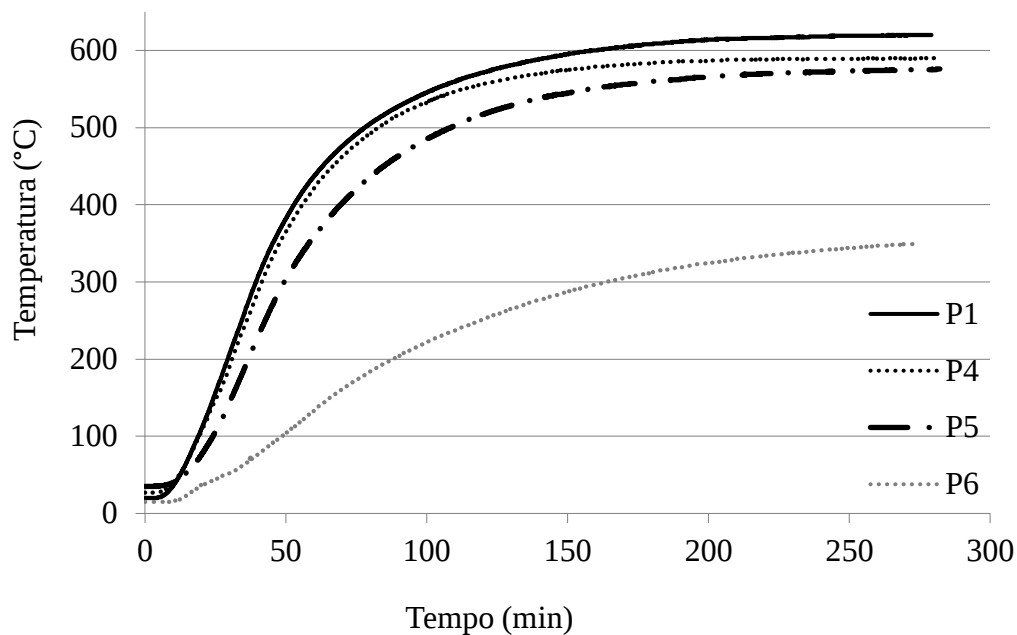


Figura 6. Temperatura no interior da alvenaria para as diferentes juntas de assentamento e revestimento (Grupo 02).

Novamente, o terceiro grupo de amostras indica a não influência do tipo de junta no fluxo de calor ao longo da espessura da parede, já que os resultados para as leituras dos termopares internos aos blocos das paredes P2 e P7 se apresentaram com grande semelhança (Figura 7). O uso da argamassa polimérica, portanto, não oferece prejuízo ou benefício em se tratando deste item.

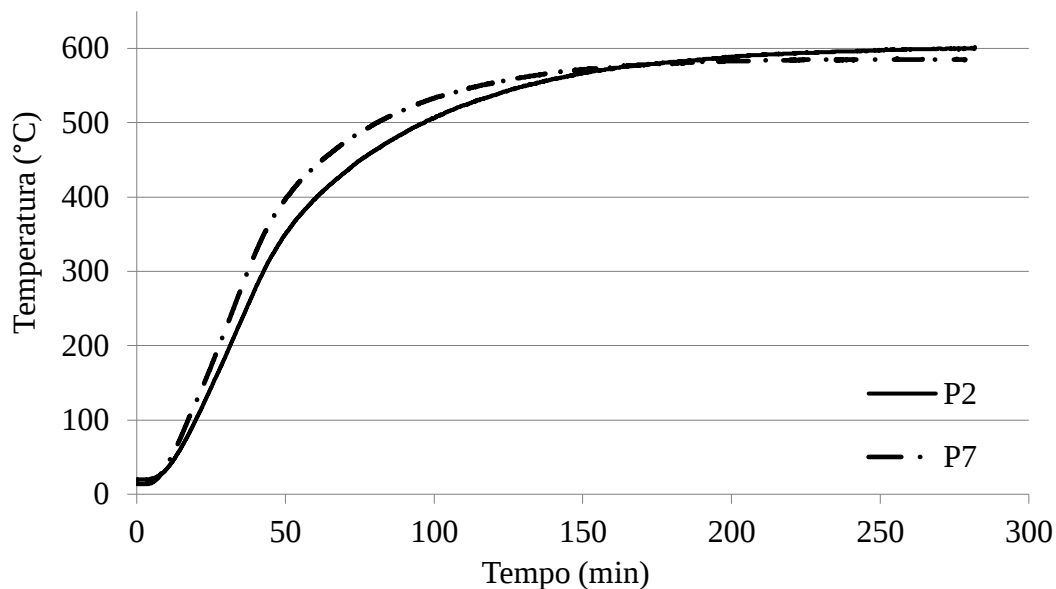


Figura 7. Temperatura no interior da alvenaria para juntas de assentamento com argamassa tradicional e polimérica (Grupo 03).

As máximas temperaturas registradas na face oposta à exposição ao calor estão representadas pela Figura 8. Os valores, em geral, se mantiveram em torno de 140 a 160°C. As exceções ficam por conta da amostra P3, executada com o bloco B3, de maior espessura, e P6, dotada de revestimento em sua face exposta. As últimas mantiveram temperaturas abaixo de 90°C, evidenciando,

novamente, o isolamento que o revestimento proporciona ao elemento, mesmo que aplicado somente em uma de suas faces. Tais resultados corroboram os dados obtidos por Nguyen e Meftah (2012) e por Souza (2017), que, similarmente, encontraram temperaturas expressivamente inferiores em alvenarias com faces revestidas. Os primeiros, por sua vez, também identificaram alguma influência do aumento da espessura do bloco no isolamento térmico da alvenaria. Conforme esperado, as resistências dos blocos e as juntas de assentamento não exercem influência significativa nos resultados de temperatura das alvenarias ensaiadas.

No tocante ao atendimento aos critérios estabelecidos pela norma brasileira NBR 14432 (2001b), nenhuma das amostras falhou nos requisitos para determinação do Tempo Requerido de Resistência ao Fogo durante a exposição ao ensaio – estanqueidade, isolamento térmico e resistência mecânica.

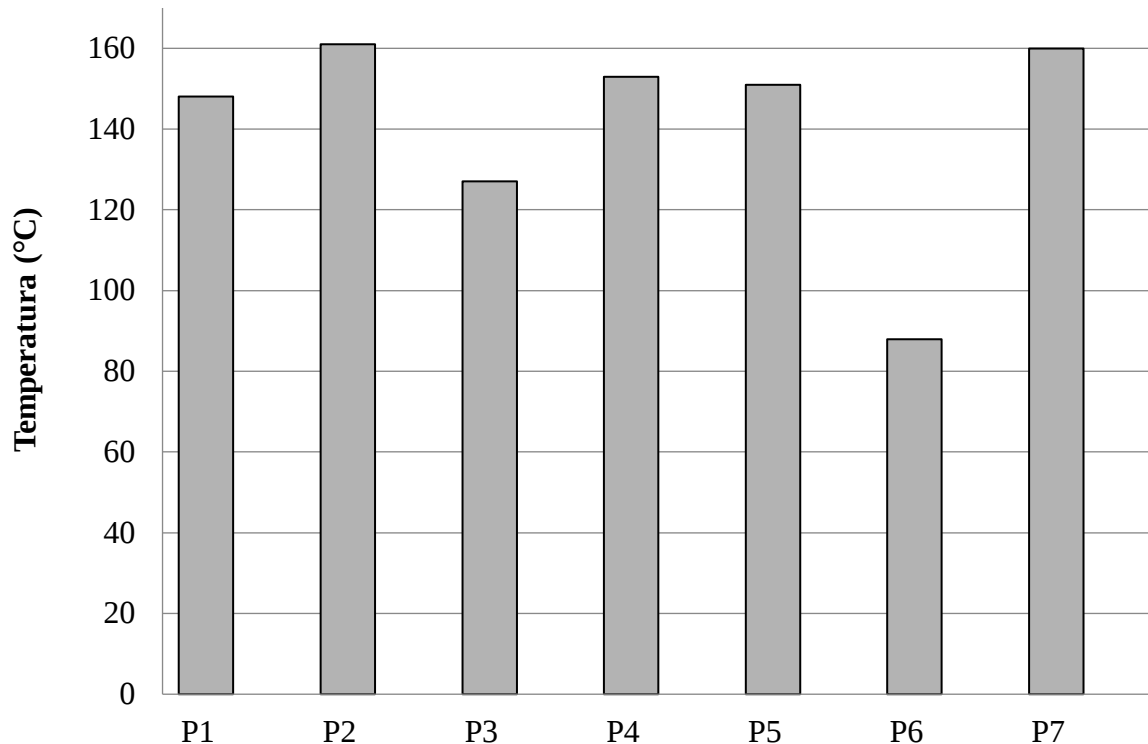


Figura 8. Temperatura máxima na face não exposta.

### 3.2 Imagens termográficas.

Foram selecionadas imagens termográficas capturadas a cada 25 minutos, até os primeiros 50 minutos de ensaio (Figura 9 a Figura 11). As análises foram realizadas com fim comparativo entre as alvenarias. Nas imagens, as regiões mais claras representam as maiores temperaturas.

Foi possível, através das imagens, ratificar o melhor isolamento térmico das amostras com bloco de 19 cm de espessura (P3) e com revestimento na face exposta (P6).

Para as amostras com revestimento na face aquecida, o aquecimento da região não exposta foi retardado e amenizado, conforme supracitado. É possível visualizar na captura aos 25 minutos da Figura 11, no entanto, manchas com temperatura mais elevada na porção superior. Isso está atribuído a fissurações e deslocamentos locais da argamassa de revestimento, o que permitiu a maior propagação de calor nessas regiões.

A diferença de coloração e, portanto, de temperatura que pode ser visualizada entre as primeiras imagens (tempo 0 min) de cada figura é remetida às diferentes temperaturas ambiente nos dias dos ensaios, que variam muito ao longo do ano na região onde os mesmos foram realizados.

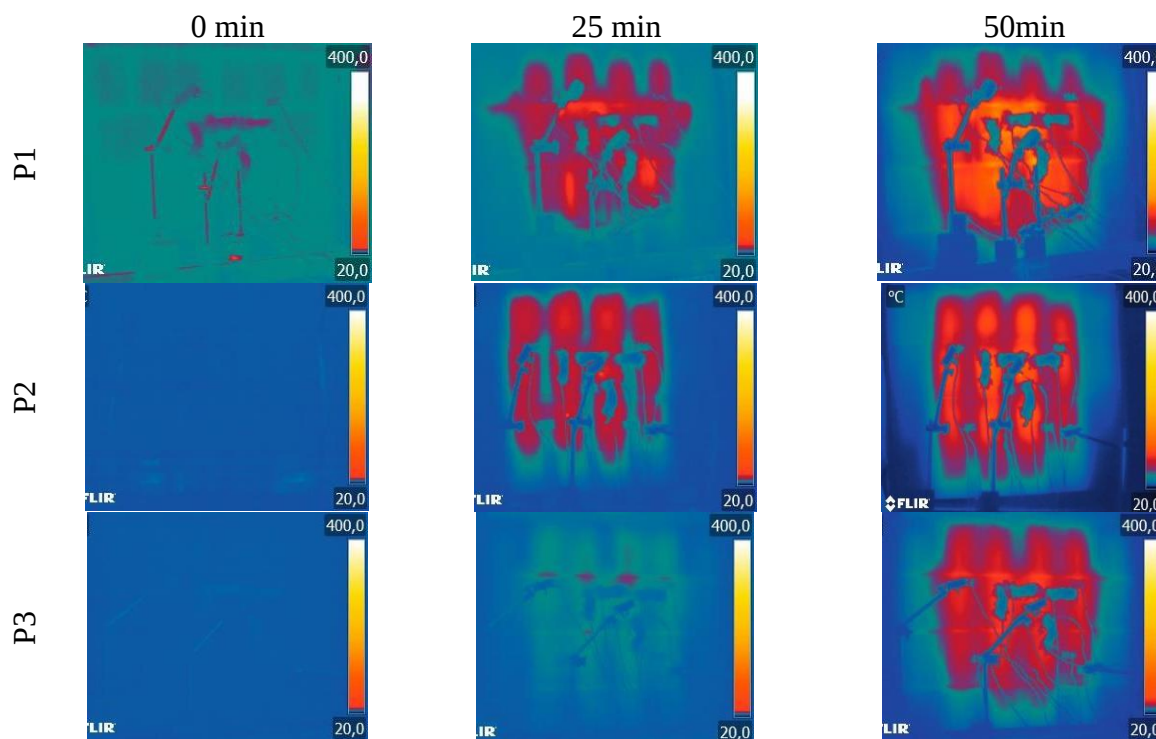


Figura 9. Imagens Termográficas – Grupo 01.

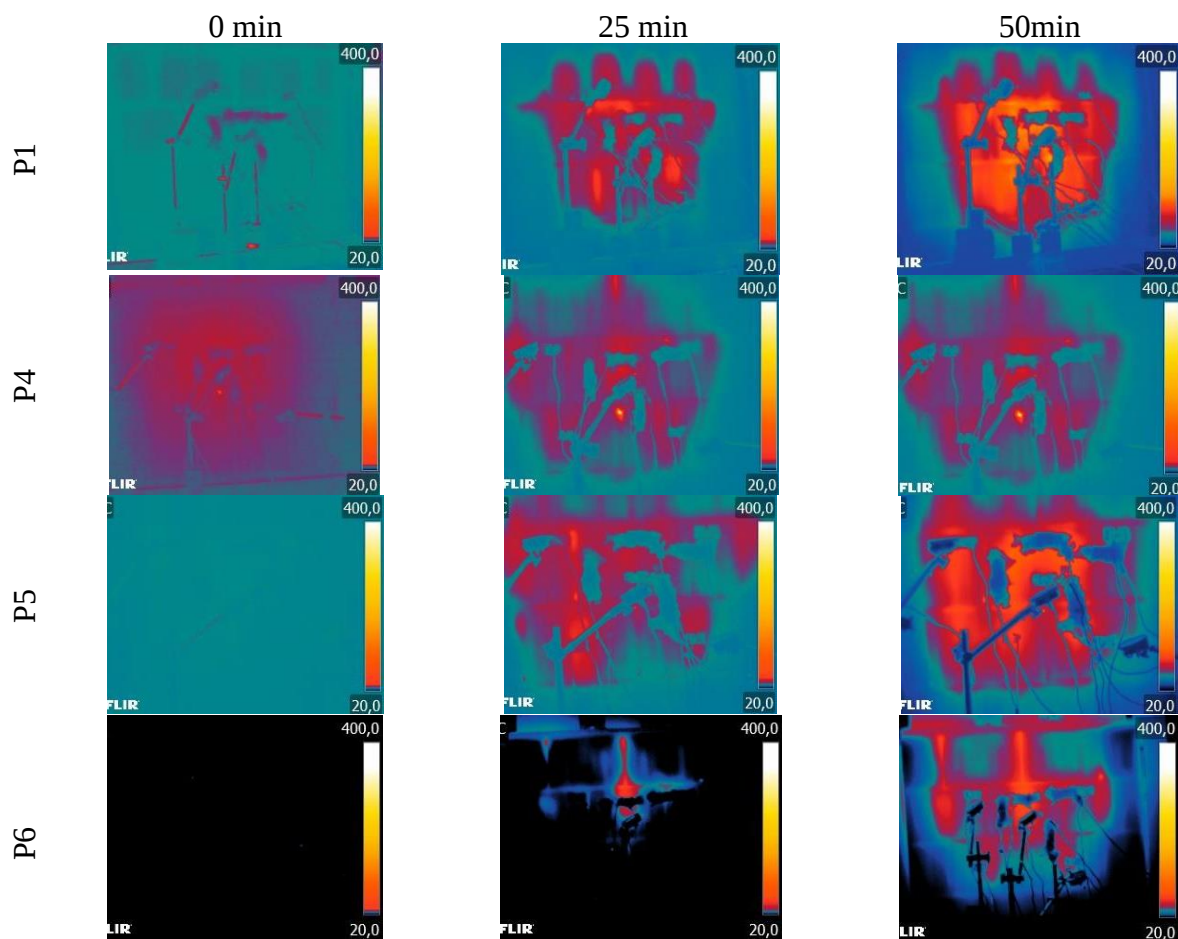


Figura 10. Imagens Termográficas – Grupo 02.

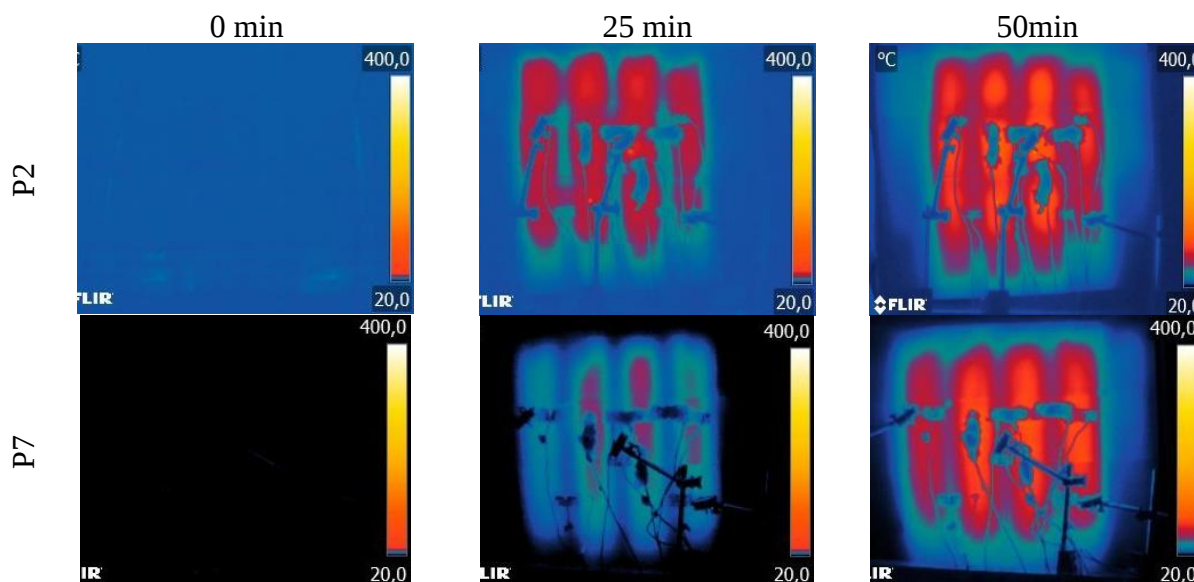


Figura 11. Imagens Termográficas – Grupo 03.

Também se visualiza um diferente padrão de aquecimento das amostras P2 e P7, executadas com blocos do tipo B2, de resistência 10 MPa, em que a temperatura se propaga essencialmente pelas cavidades dos mesmos (Figura 11). O padrão é semelhante ao observado por Nguyen e Meftah (2012), que identificaram temperaturas superiores nos alvéolos dos blocos. Segundo os autores, em uma parede os principais mecanismos de transferência de calor são convecção e irradiação, assim, as temperaturas medidas nas cavidades dos blocos são maiores do que as medidas nas suas paredes transversais, onde o calor é propagado por condução. Isso posto, o padrão observado ocorre devido ao fato de as paredes dessas unidades serem maciças e, portanto, a propagação do calor ser menor nessas regiões do que nos blocos de paredes vazadas.

### 3.3 Deslocamento longitudinal

Os deslocamentos apresentados nesse item tratam das movimentações dentro do plano das paredes. Foram mensuradas as dilatações ou contrações dos blocos nas direções vertical e horizontal - CG 1 e CG 2, respectivamente, bem como o esmagamento ou afastamento das juntas de assentamento da alvenaria, também na vertical (CG3) e na horizontal (CG4).

Para análise dos resultados, foram considerados os dados obtidos nos primeiros 150 minutos de exposição. Após esse período os mesmos poderiam sofrer interferência da temperatura, visto que, a essa altura do ensaio, o aquecimento da face não exposta ao calor atingia aproximadamente seu máximo, aquecendo também os *clip-gages* utilizados na instrumentação. Salienta-se que os valores negativos nos gráficos representam o fechamento dos transdutores de deslocamento, enquanto valores positivos indicam a abertura dos mesmos.

Uma das observações que pode ser feita por meio dos resultados apresentados é de que amostras com juntas mais flexíveis tendem a permitir a dilatação do bloco, formando um sistema mais deformável em comparação aos demais. Esse comportamento pode ser observado na amostra P1, por exemplo, onde os transdutores fixados ao bloco central – CG 1 e CG 2 – apresentaram comportamento que indica expansão em ambas as direções (Figura 12). O início da dilatação coincide com o momento em que a temperatura na face externa começa a se elevar.

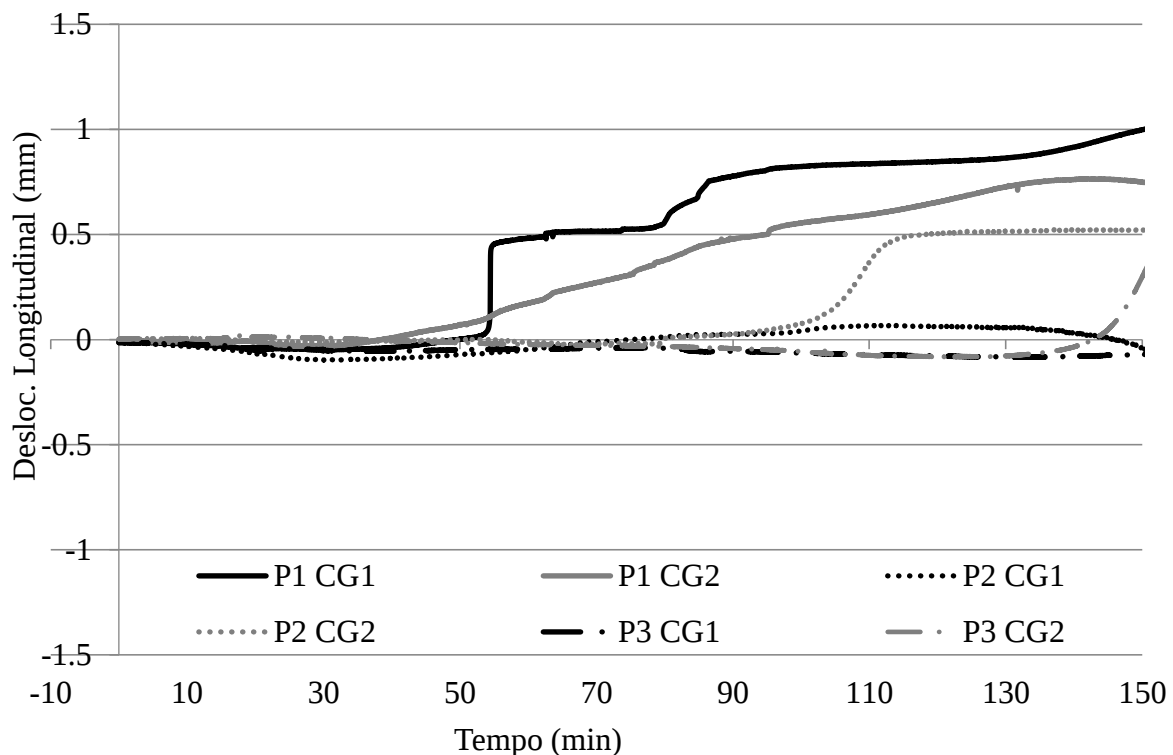


Figura 12. Deslocamento longitudinal dos blocos – Grupo 01.

Para a amostra P2, apesar de a argamassa ter resistência pouco superior à do primeiro, a dilatação do bloco não se apresentou da mesma forma. Isto pode ter decorrido do fato de a restrição lateral ter sido mais eficaz, ou ainda pela maior rigidez do bloco, que possui paredes maciças, e não vazadas, a fim de lhe conferir maior resistência. No caso da amostra P3, o bloco praticamente não apresentou movimentação durante o período considerado. Tal comportamento foi atribuído ao melhor isolamento térmico observado para esta amostra, que apresentou pouco incremento de temperatura nos períodos iniciais, sofrendo, portanto, menor movimentação térmica. O mesmo se dá na amostra P6, que possui melhor isolamento térmico devido ao revestimento de sua face.

Melhorando a resistência da argamassa a ponto de alcançar ou até ultrapassar a resistência do bloco, como no caso P5, a junta passa a não absorver mais as deformações, transferindo, então, tensões de compressão para o bloco, denotadas pelos valores negativos de CG2 (Figura 13). O mesmo acontece para a amostra com argamassa polimérica (P7), que, por ser pouco deformável, também transfere tensões para o bloco, causando sua compressão em ambas as direções – CG1 e CG2 (Figura 14).

Essas transferências de tensão de compressão para o bloco podem indicar um sinal de alerta para a possível ocorrência de *spalling* na alvenaria quando executada com argamassa de resistência alta. Na amostra P7, por exemplo, construída com argamassa polimérica, foi possível visualizar no bloco uma fissura de maior expressão, mesmo em se tratando de unidade com paredes maciças. Essa fissura pode estar relacionada às tensões de compressão sofridas pela mesma.

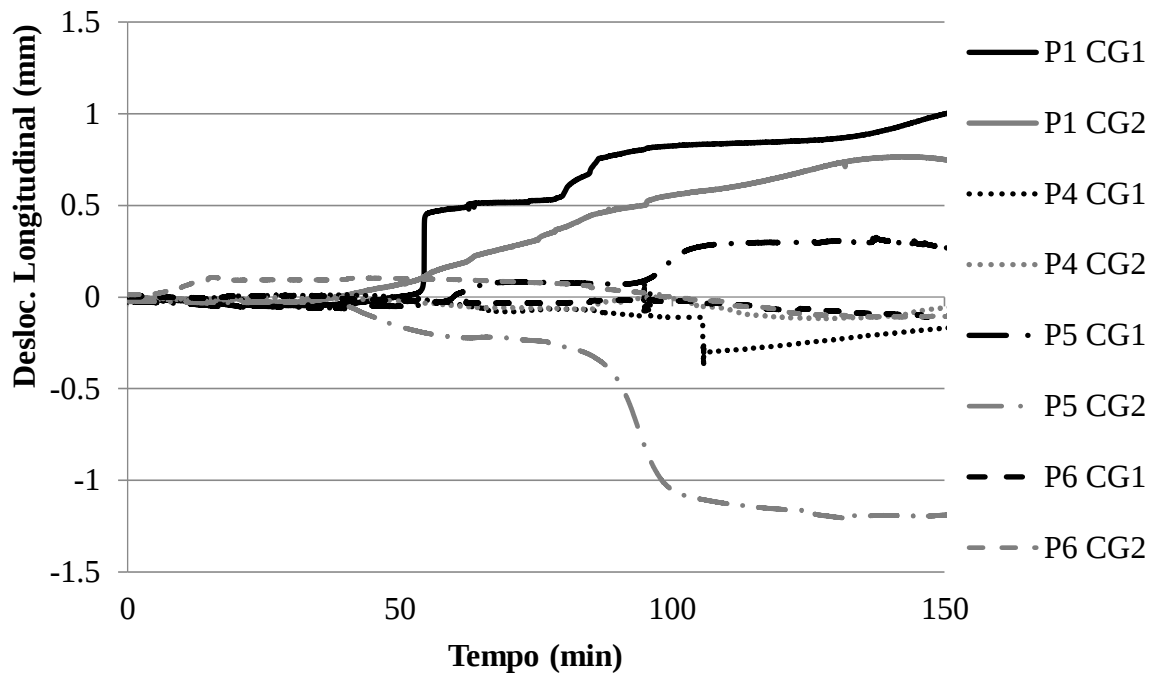


Figura 13. Deslocamento longitudinal dos blocos – Grupo 02.

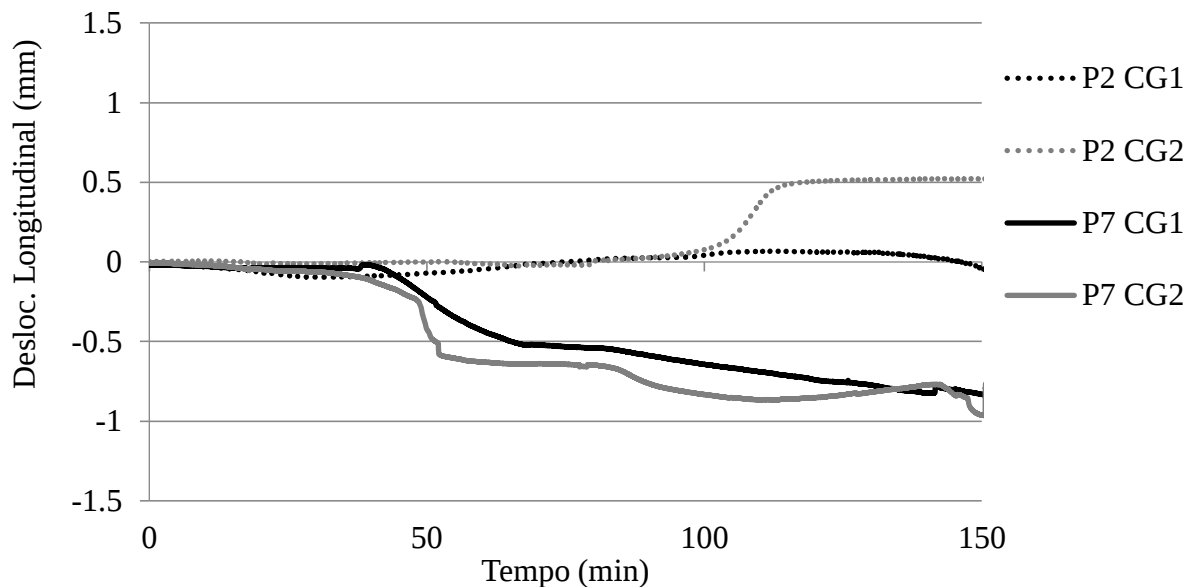


Figura 14. Deslocamento longitudinal dos blocos – Grupo 03.

Embora não tenha sido observada a ocorrência de *spalling* nos ensaios realizados, começa-se a compreender melhor as características que poderiam facilitar esse fenômeno em paredes de dimensões reais, como observado nos estudos de Nguyen e Meftah (2012) e Souza (2017).

Para quase todos os casos, a junta horizontal, monitorada pelo CG 3, apresenta fechamento, sinalizando compressão da mesma (Figura 15 e Figura 16). Tal manifestação pode ser causada tanto pelo carregamento vertical aplicado à amostra, quanto pela dilatação dos blocos adjacentes a ela, ou ainda por uma combinação de ambos. O caso que se excetua desse padrão é o da amostra P7, em que a junta horizontal inicialmente se comporta como as demais, apresentando compressão, e posteriormente inverte seu movimento, denotando abertura da junta (Figura 17). Tal fato pode ser causado pela degradação e perda de resistência da argamassa na face interna da parede.

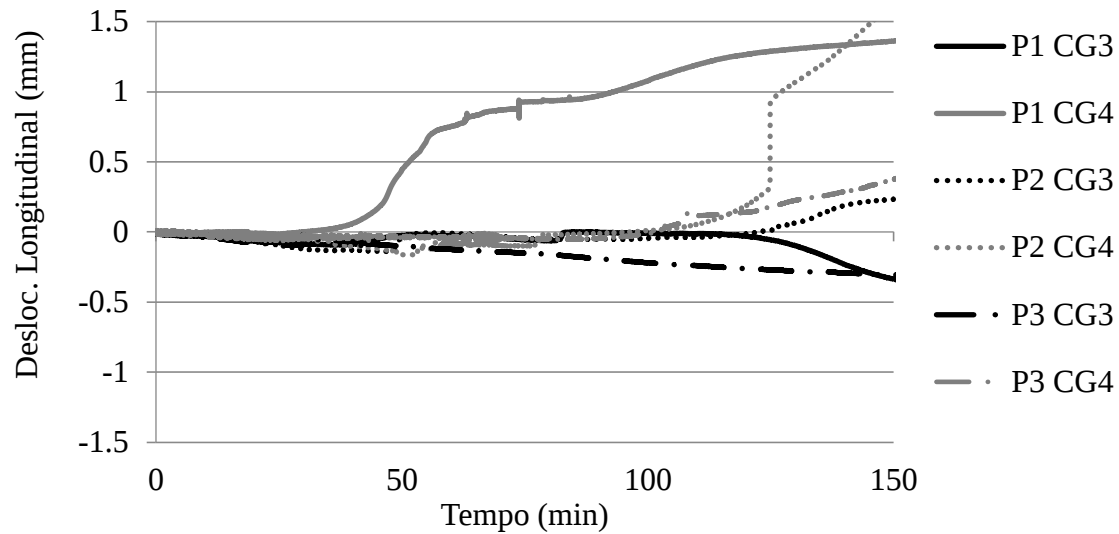


Figura 15. Deslocamento longitudinal das juntas – Grupo 01.

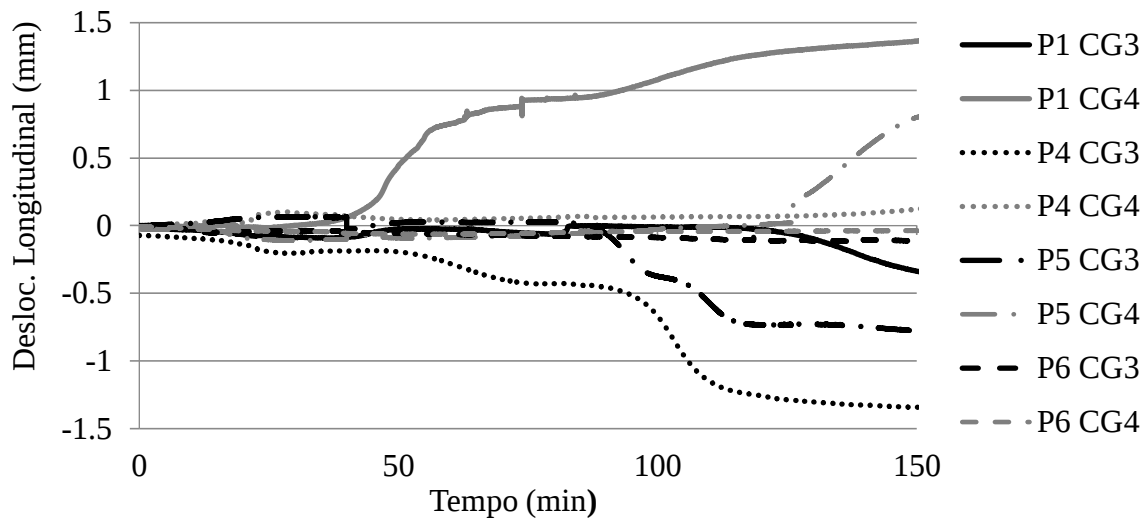


Figura 16. Deslocamento longitudinal das juntas – Grupo 02

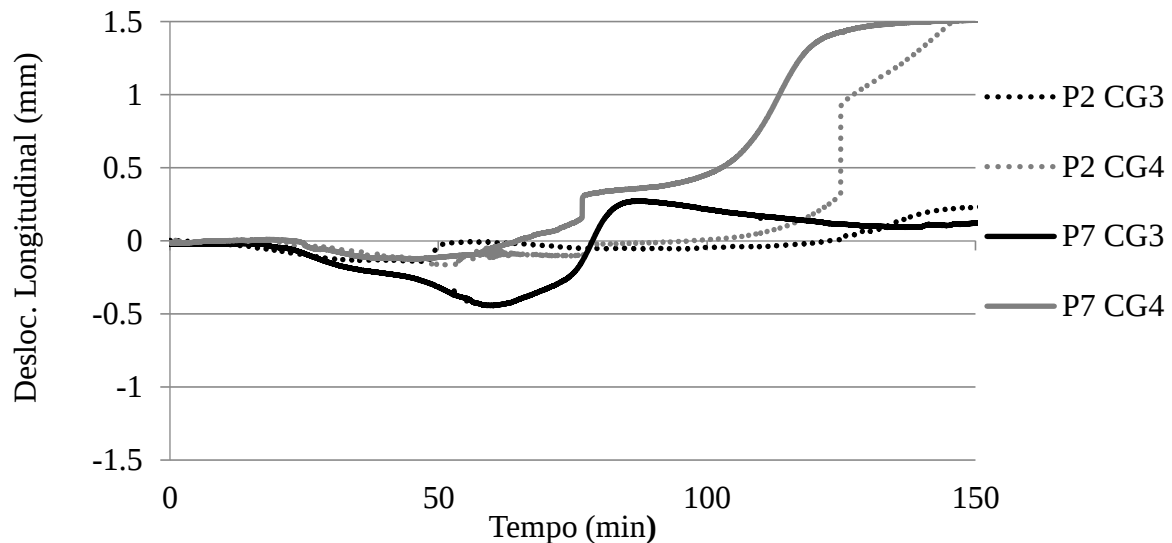


Figura 17. Deslocamento longitudinal das juntas – Grupo 03

O movimento de abertura do CG 4, manifestado para a maioria dos resultados, pode ter sido fruto de uma movimentação da parede como um todo, que poderia estar se expandindo lateralmente devido a uma restrição ineficiente nessa direção. É possível que a argamassa utilizada para o capeamento das amostras não tenha oferecido resistência suficiente para impedir as deformações. Com isso, o efeito de esmagamento da junta entre os blocos é melhor visualizado na direção vertical, pelo *clip-gage* 3, já que nessa direção a aplicação de carga torna a restrição mais efetiva. De forma geral, os resultados aqui apresentados constituem importante contribuição para o avanço da pesquisa no que tange o comportamento mecânico de alvenarias expostas a altas temperaturas, bem como contribuem para o conhecimento acerca da influência dos tipos de materiais utilizados na construção das alvenarias nos resultados obtidos, assuntos estes classificados como escassos ou ausentes no estudo realizado por Russo e Sciarretta (2013).

## 4 CONCLUSÕES

As paredes ensaiadas apresentaram bom desempenho frente à ação das altas temperaturas. Estas apresentaram fissuras predominantemente verticais após a exposição, especialmente na face exposta ao calor. A argamassa de assentamento das alvenarias perdeu significativamente sua resistência. Nas amostras revestidas, a argamassa de revestimento desprende-se completamente do substrato com a elevação da temperatura.

Foi possível inferir que o aumento da espessura do bloco e, sobretudo, a utilização de revestimento argamassado atenuam a passagem de calor para a face não exposta.

A análise dos dados obtidos para os deslocamentos longitudinais indicou que juntas mais flexíveis formam um sistema mais deformável em comparação aos demais, permitindo a dilatação do bloco em ambas as direções no plano. A elevação da resistência da argamassa de assentamento, de forma que essa iguale ou ultrapasse a resistência das unidades da alvenaria, pode representar risco ao elemento, já que a absorção de tensões pelas juntas é reduzida, de modo a transferir esforços para o bloco. O mesmo se aplica à argamassa polimérica, por sua baixa deformabilidade.

Com os dados obtidos é possível observar o grande número de variáveis que podem influenciar no comportamento de elementos de alvenaria, sendo este um método construtivo com propriedades de difícil compreensão em situação de incêndio. Salienta-se que as dimensões das amostras estudadas, por serem reduzidas em relação à realidade, atribuem maior rigidez a elas, o que certamente influencia no comportamento mecânico dos elementos.

## 5 REFERÊNCIAS

Al-Sibahy, A., Edwards, R. (2013), *Behaviour of masonry wallettes made from a new concrete formulation under combination of axial compression load and heat exposure: Experimental approach*. Engineering Structures, v. 48, p. 193–204, 2013.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.09.028>

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2001), *NBR 5628: componentes construtivos estruturais - determinação da resistência ao fogo*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (1980), *NBR 6120 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2001b), *NBR 14432 - Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento*. Rio de Janeiro.

Ayala, F. R. R. (2010). *Mechanical properties and structural behaviour of masonry at elevated temperatures*. Tese (Doutorado) - University of Manchester, Faculty of Engineering and Physical Sciences. p. 294.

- Beber, A. J. (2003). *Comportamento Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Compósitos de Fibra de Carbono*, p. 317.
- British Standards Institution. (1987). *BS 476: fire tests on building materials and structures*. London.
- International Organization For Standardization. (1994). *ISO 834: fire-resistance tests - Elements of building construction*. Genève.
- Li, Y., Lu, X., Guan, H., Ying, M., Yan, W. (2015). *A Case Study on a Fire-Induced Collapse Accident of a Reinforced Concrete Frame-Supported Masonry Structure*. Fire Technology. <https://doi.org/10.1007/s10694-015-0491-0>
- Navarro, M. C., Ayala, F. R. R. (2015). *Degradación de Materiales de la Construcción Ante la Acción de Altas Temperaturas*. Congreso Internacional de Ciencias de la Ingeniería, 2., 2015. Los Mochis. Anais... Los Mochis.
- Nguyen, T. D., Meftah, F. (2012). *Behavior of clay hollow-brick masonry walls during fire. Part 1: Experimental analysis*. Fire Safety Journal, v. 52, p. 55–64. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2012.06.001>
- Russo, S., Sciarretta, F. (2013). *Masonry exposed to high temperatures: Mechanical behaviour and properties - An overview*. Fire Safety Journal, v. 55, p. 69–86, Elsevier.
- Shields, T. J., Connor, D. J. O., Silcock, G. W. H., Donegan, H. A. (1988). *Thermal bowing of a model brickwork panel*. International brick/block masonry conference, 8., 1988. Dublin. Anais... Dublin: Elsevier Applied Science, v. 2. p.846–856.
- Souza, R. P. (2017). *Avaliação da influência da espessura do revestimento argamassado e do carregamento no comportamento de alvenaria frente a altas temperaturas*. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Vale dos Sinos. São Leopoldo. 138 p.