

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS ELEMENTOS / SISTEMAS DE COMPARTIMENTAÇÃO VERTICAL COM FUNÇÃO ESTRUTURAL SUBMETIDOS À ELEVADAS TEMPERATURAS

Jeanna de Campos Cunha¹

Orientador: Luiz Carlos Pinto da Silva Filho²

RESUMO

O processo construtivo em alvenaria estrutural vem se consolidando como um sistema construtivo viável, moderno e econômico, é caracterizado pela utilização de peças industrializadas de dimensões e peso que as fazem manuseáveis, ligadas por argamassa, tornando o conjunto monolítico. Tem a finalidade de resistir ao carregamento da edificação, tendo as paredes função resistente. Uma das principais vantagens da alvenaria estrutural é o fato de ser considerada extremamente resistente ao fogo. Contudo, conforme as principais normas nacionais e estrangeiras, para determinação da resistência ao fogo, na realização do ensaio no caso de uma parede de alvenaria, são consideradas três níveis de segurança: adequação estrutural, estanqueidade e isolamento térmico. Estas normas estabelecem a ação térmica padrão a que os elementos que se deseja testar devem ser submetidos durante a realização dos ensaios. Comprovadamente, estas referenciam a necessidade de resistência ao fogo dos materiais constituintes do sistema, no entanto, não indicam a eficiência ao objetivo proposto: confinar o fogo em seu compartimento de origem ou retardar sua propagação. Cabe, portanto, analisar a eficiência delas através do uso de estudos de casos, contexto no qual se enquadra o presente trabalho, que tem por objetivo a análise sob a ótica da dinâmica de propagação do fogo, simulando uma situação real de incêndio, para avaliar a eficiência térmica e a resistência mecânica dos componentes dos sistemas de compartimentação verticais estruturais. Para tanto, realizaram-se ensaios com mini paredes, com diferentes composições, a saber: com blocos cerâmicos, blocos em concreto e tijolo maciço, alternados entre a presença de revestimento e preenchimento e utilizando-se termopares e fotografia. Para as coletas de registros das leituras de cargas e leitura dos termopares, foram utilizados sistemas e monitoramento via softwares específicos ligados a um computador, permitindo, assim, o acompanhamento da evolução da carga e das temperaturas. Os resultados obtidos confirmam que as mini paredes são resistentes à exposição a altas temperaturas, podendo ser consideradas como superiores a quatro horas. Observou-se, ainda, que os elementos ensaiados mantiveram sua integridade, não apresentando ruptura.

Palavras-chave: alvenaria estrutural, segurança contra incêndio e pânico, altas temperaturas, propagação de incêndio, resistência.

¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com .

² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de construção em alvenaria estrutural avançou, primeiramente, pelo empilhamento de tijolos e paredes, de forma que fosse desempenhada a aplicação de seus projetos. A maioria dos vãos possuía a característica de seus tijolos serem relativamente pequenos e as edificações tinham uma durabilidade muito curta. Com o desenvolvimento do sistema construtivo, agregou-se o arco na estrutura, obtido por meio de arranjos das unidades, garantindo, assim, uma maior vida útil para as construções.

A alvenaria estrutural é conceituada por Villar (2005) como um sistema construtivo racionalizado, onde os elementos de vedação também desempenham a função estrutural. Sua composição se dá pela união de blocos (de cerâmica, concreto, ou sílico-calcáreos) com juntas horizontais e verticais de argamassa de assentamento, e após executado pode ou não receber aplicação de revestimentos. As características da argamassa exercem importância nos resultados de resistência à compressão do conjunto, porém o bloco estrutural tem principal importância nesta resistência. Problemas estruturais sérios podem ocorrer à uma edificação, caso a alvenaria não possua capacidade suporte necessária (LIMA, 2010).

Conforme Ramalho e Corrêa (2003), a utilização da alvenaria estrutural parte de uma concepção que é a de transformar a alvenaria, originalmente com função exclusiva de vedação, na própria estrutura, evitando a necessidade de pilares e vigas que dão suporte a uma estrutura convencional.

O principal conceito estrutural da alvenaria estrutural está ligado à transmissão de ações de tensões de compressão. Esse é o conceito crucial a ser levado em conta quando se discute a alvenaria como processo construtivo para elaboração de estruturas. Especialmente no presente é evidente que se pode admitir a existência de tensões de tração em determinadas peças. Entretanto, essas tensões devem preferencialmente se restringir a pontos específicos da estrutura, além de não apresentarem valores muito elevados. (RAMALHO, CORRÊA, 2003, p. 1).

Utiliza-se este sistema construtivo (alvenaria estrutural) desde a antiguidade por quase todas as civilizações, sendo a principal técnica construtiva executada até o início do século XX, (VILLAR, 2005). Porém, devido o desenvolvimento de pesquisas com a utilização de aço e concreto armado nas construções, a alvenaria estrutural perdeu espaço, considerando que estes materiais permitiram a construção de estruturas mais esbeltas, mais leves e tecnicamente melhor compreendidas (RAZENTE, 2004).

Entretanto as qualidades da alvenaria estrutural são diversas. Das quais, podemos citar a segurança, a proteção ao fogo, redução do tempo de execução, a racionalização estrutural, isolamento térmico e acústico, a subdivisão de espaços e a redução de camadas de revestimento, estas qualidades fazem deste método algo muito atrativo para o mercado consumidor (BARBOSA 2004). A estabilidade da economia têm proporcionado um grande desenvolvimento da alvenaria estrutural, já que com uma preocupação mais voltada para os custos, as empresas têm utilizado novos materiais e investido mais em pesquisas. (RAMALHO; CORRÊA, 2003). Atualmente existem diversas normas da ABNT para cálculo, execução e controle de obras em alvenaria estrutural e o sistema começa a difundir-se em todos os estados da federação.

Logo, verifica-se que este método classifica-se como um dos mais utilizados em construções e, que uma das principais características deste sistema construtivo é a proteção ao fogo. Contudo, o presente estudo tem por objetivo avaliar a eficiência térmica e a resistência mecânica dos componentes, simulando mini paredes elaboradas em tijolos maciços, alvenaria

¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com .

² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.

estrutural em bloco cerâmico e concreto ambos vazados com função estrutural, todos sem revestimento, quando submetidas à elevadas temperaturas, sob carga de serviço de 5,25 tf/m ou 52,5 kN, anterior e posterior à uma simulação de situação real de aquecimento provocada durante um incêndio.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta etapa do trabalho será apresentada uma breve revisão dos principais conceitos relativos ao tema de pesquisa. Foi adotada uma abordagem que envolveu a descrição de conceitos básicos e apresentação de algumas das mais recentes pesquisas na área relacionando assim a resistência ao fogo.

2.1 Alvenaria estrutural

É definido atualmente, como o conjunto coeso e rígido de tijolos maciços ou blocos, com forma externa de paralelepípedo, denominados unidades de alvenaria, unidos por si por meio da interposição (junta) de argamassa, projetado para resistir a esforços de compressão. Podendo servir tanto pra vedação como para estrutura de uma edificação, sendo este último denominado de alvenaria estrutural. Alvenaria estrutural é um processo construtivo onde a parede, além de servir como elemento de vedação, serve como elemento portante, suportando o peso da estrutura (cargas verticais devidas ao peso próprio da estrutura e ocupação e às cargas laterais que tem origem na ação do vento) e passando-o para a fundação. A fórmula de resolução é feita através de um dimensionamento racional, para garantir a segurança das estruturas evitando sua degradação.

Na alvenaria estrutural, as paredes são os elementos estruturais, devendo resistir às cargas como fariam os pilares e vigas utilizados em obras de concreto armado, aço ou madeira. O projeto ideal considera a distribuição das paredes de forma que cada uma atue como elemento estabilizador da outra. O processo construtivo em alvenaria estrutural é empregado na construção de edifícios que se caracterizam por uma estrutura suporte de sistema tridimensional segundo métodos racionais e de confiabilidade determinável (ARAÚJO, 1995).

Prudêncio, Oliveira, Bedin (2002) classificou a alvenaria estrutural em três categorias:

a) Alvenaria estrutural não-armada: são aquelas constituídas de blocos, assentados com argamassa, podendo conter armaduras com finalidade construtivas ou de amarração, não consideradas na absorção dos esforços calculados.

b) Alvenaria estrutural armada: são aquelas onde paredes são constituídas de blocos assentados com argamassa, cujas cavidades são preenchidas continuamente com graute, que envolve quantidade suficiente de armaduras dimensionadas para absorver esforços calculados, além daquelas armaduras com finalidade construtiva ou de amarração.

c) Alvenaria parcialmente armada: São aquelas em que algumas paredes são constituídas segundo as recomendações da alvenaria armada e as demais de acordo com as prescrições da alvenaria estrutural não-armada.

Abaixo serão apresentados os conceitos básicos da resistência à compressão da alvenaria estrutural, fazendo um breve relato sobre a resistência à compressão dos blocos, argamassa e prismas.

2.2. Resistência à compressão dos blocos

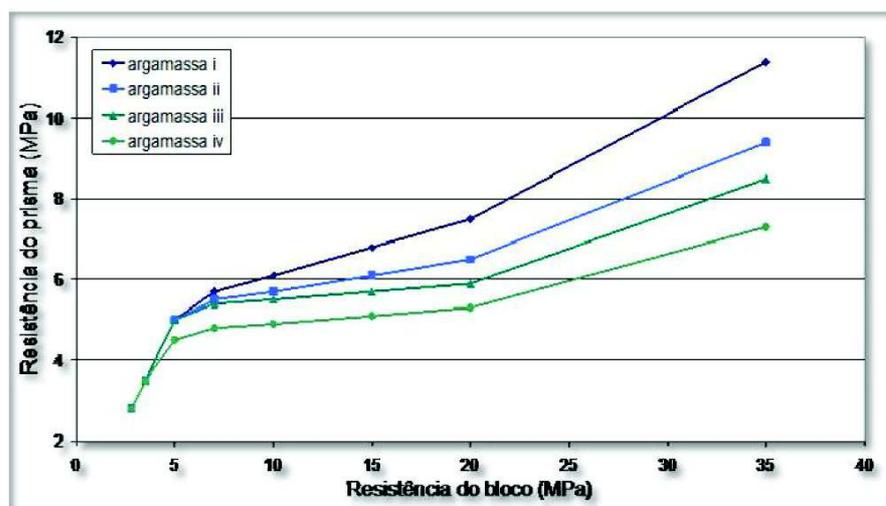
¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com .

² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.

Os blocos cerâmicos são os principais responsáveis pela resistência à compressão de prismas e paredes, considerando que conforme comentários de Santos (2008), blocos com maior resistência, tendem a aumentar a resistência à compressão da alvenaria estrutural, porém este aumento não é proporcional ao dos blocos. A resistência do bloco é sempre superior a do prisma, não somente pela resistência da junta de argamassa, como pela esbeltes dos elementos que alteram a forma de ruptura.

Conforme Figura 1, da norma britânica BS 5628 – 1 (1992) apud Santos (2008) está estabelecido uma relação entre a resistência à compressão dos blocos (de diferentes resistências) com a resistência dos prismas.

Figura 01: Comparativo da resistência de prismas e blocos.



Fonte: Adaptado de BS 5628-Part1. (1992).

Analisando a Figura 01, nota-se o desempenho das argamassas padronizadas pela norma britânica BS 5628/92, sendo que, enquanto ocorre um aumento de 12,5 vezes na resistência do bloco, reflete em um aumento médio de 3,25 vezes no prisma. Observa-se também que, a partir de blocos com 15 Mpa, a variação da resistência do prisma em função da argamassa começa a ser mais significativo, fato este que não ocorre nas de baixa resistência.

2.3 Segurança contra incêndio

Todos os anos em diversas partes do mundo ocorrem grandes prejuízos materiais e milhares de mortes, causados por uma força destrutiva: o incêndio. Este evento pode ocorrer em todos os tipos de edificações, sendo sempre um risco a segurança humana, considerando que se trata da propagação de chamas fora de controle, risco este que aumenta muito em edifícios com diversos andares. Sendo assim, após a ocorrência de dois incêndios de grandes proporções na cidade de São Paulo, no Edifício Andraus em 24/02/1972, e no Edifício Joelma em 01/02/1974, este com 179 vítimas fatais, que a área de segurança contra incêndio em edificações ganhou força no Brasil, sendo criado o Laboratório de Ensaio de Fogo no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), no estado de São Paulo em 1976 (ONO, 2007). Tendo isto em vista, necessita-se entender alguns conceitos fundamentais associados aos incêndios e como os incêndios se desenvolvem no interior de uma edificação, para assim efetuar um

¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com .

² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.

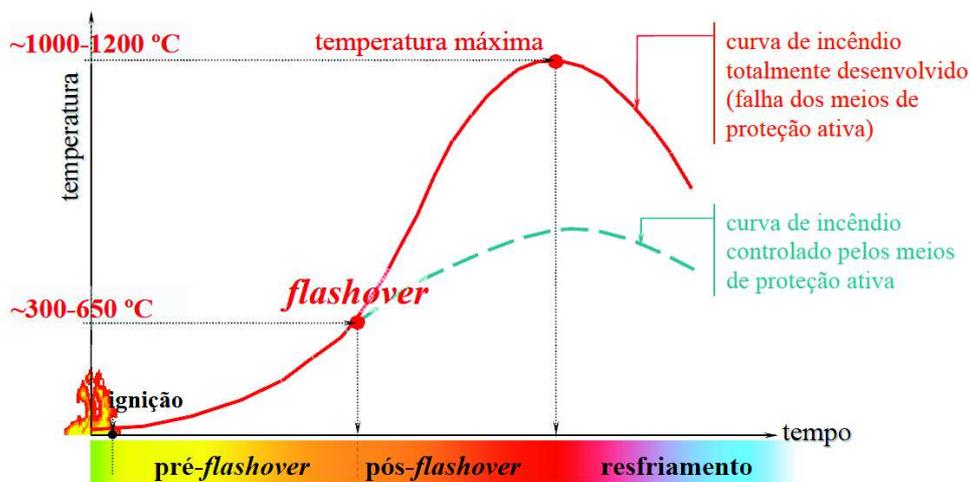
estudo das medidas de prevenção e proteção contra incêndios a ser estabelecida nas edificações.

2.3.1 Conceitos de fogo e incêndio

Embora existam grandes avanços na ciência do fogo, por enquanto não existe um consenso mundial para defini-lo, pelo fato de não haver uma concordância clara nas definições das principais normalizações internacionais vigentes (SEITO et al., 2008). Segundo ABNT NBR 13860:1997 “Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio” possui a seguinte definição: “O fogo é o processo de combustão caracterizado pela emissão de calor e luz”. De acordo com Harris (2002), o fogo é parte de uma reação química, desta forma, é um efeito secundário visível e tangível da matéria em modificação. Para ocorrer o fogo, os seguintes componentes se fazem necessários: o combustível (a substância que queima), o comburente (o oxigênio), o calor, e a reação em cadeia, conhecida como tetraedro do fogo. Por meio da reação em cadeia, o calor gerado na reação de combustão é reutilizado, dando continuidade à ocorrência do fogo (SEITO et al., 2008).

Pode-se caracterizar o incêndio real por uma curva temperatura-tempo, a qual compreende dois ramos: o ascendente e o descendente. Sendo a elevação da temperatura representada pelo ascendente e a fase de resfriamento pelo descendente, conforme Figura 02 (COSTA, 2008).

Figura 02: Principais fases de um incêndio real.



Fonte: Costa (2008).

Em explicação à Figura 02, Costa (2008) relatada que uma curva de um incêndio real possui as seguintes regiões:

- **Ignição:** fase de aquecimento no princípio da inflamação, com aumento gradativo da temperatura, com pouca influência das características do comportamento e sem risco à vida humana ou patrimonial, por colapso estrutural.
- **Pré-flashover:** fase de aquecimento caracterizado por uma aceleração no aumento da temperatura; o incêndio ainda é focado e seu tempo de duração depende das características do compartimento (aberturas, material da compartimentação, etc), até a possibilidade do flashover.
- **Flashover:** fase com um período muito curto, onde todo o compartimento é tomado pelas chamas e o incêndio deixa de ser controlável pelos meios de proteção ativa; sendo assim, o flashover é chamado de instante de inflamação generalizada.

¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com .

² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.

- **Pós-flashover:** fase caracterizada pela mudança súbita de aumento da temperatura; entra em combustão todo o material combustível no compartimento. A temperatura dos gases quentes é superior a 300°C e de aumento rápido, até atingir o pico da curva, sendo possível alcançar temperatura dos gases superior a 1.000°C.
- **Resfriamento:** fase de redução gradual da temperatura dos gases no ambiente, depois da completa extinção do material combustível no compartimento (SILVA apud COSTA, 2008); sem carga de incêndio para alimentar as chamas, o arrefecimento do incêndio se inicia. Em consequência da inércia térmica, a temperatura do elemento estrutural continuará a aumentar por alguns minutos durante a fase de resfriamento, ocorrendo assim, um pequeno “atraso” no início do resfriamento da estrutura (PURKISS apud COSTA, 2008).

2.3.2 Medidas de segurança contra incêndio

Para ser considerado seguro contra incêndio, um edifício deve antes de tudo, passar por uma análise dos requisitos funcionais necessários e quais serão os objetos de segurança (ONO, 2007). Harmathy apud Ono (2007) define que edifício seguro contra incêndio é aquele em que existe grande probabilidade de que todos os ocupantes sobrevivam a um incêndio sem sofrer ferimento e de que os prejuízos materiais sejam confinados somente às vizinhanças do local do início do fogo. Segundo Mitidieri (2008) para uma edificação ter este desempenho quando exposto a um incêndio é necessário atender certos requisitos funcionais:

- tornar difícil a ocorrência do princípio de incêndio;
- ocorrendo o princípio de incêndio, limitar a inflamação generalizada do ambiente;
- propiciar a extinção do incêndio no ambiente de origem;
- dificultar a propagação do incêndio para outros ambientes;
- permitir a saída dos usuários do edifício com segurança;
- dificultar que o incêndio se propague para edifícios adjacentes;
- preservar integridade do edifício, sem danos, sem ruína parcial ou total; e
- permitir ações de combate ao fogo e de resgate/salvamento de vítimas.

As medidas de segurança contra incêndios são determinadas com base nestes requisitos funcionais, tais medidas buscam diminuir os riscos de não cumprimento dos requisitos e dos prejuízos causados por incêndios, o que ocorre quando estas são devidamente compatibilizadas e integradas.

2.3.3 Compartimentação horizontal e vertical

A finalidade da compartimentação é dificultar a propagação rápida do fogo, que pode impedir a fuga dos ocupantes de uma edificação, além de diminuir a possibilidade de o fogo aumentar, através da interposição de elementos de construção resistentes ao fogo, destinados a separar alguns locais do restante da edificação, evitando ou diminuindo a propagação do fogo, calor e gases aquecidos (MARCATTI; COELHO FILHO; BERQUÓ FILHO, 2008). Conforme Ono (2007), a compartimentação é classificada como uma medida de proteção passiva, a qual tem fundamental importância na segurança contra incêndio de uma edificação. Esta medida de proteção pode ser dividida em duas categorias principais: a compartimentação horizontal e a vertical. A compartimentação horizontal destina-se a evitar a propagação do incêndio no plano horizontal, confinando-o ao local de origem, se caracterizando pelos elementos construtivos como as paredes divisórias, além das portas corta-fogo, da selagem corta-fogo nas passagens das instalações prediais e dos registros corta-fogo nas tubulações de ventilação e ar-condicionado (MARCATTI; COELHO FILHO; BERQUÓ FILHO, 2008). A compartimentação vertical destina-se, a evitar a propagação do incêndio no plano vertical,

¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com .

² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.

para pavimentos superiores e inferiores, constituída por elementos resistentes ao fogo dispostos tanto interna quanto externamente à edificação (MARCATTI; COELHO FILHO; BERQUÓ FILHO, 2008).

As paredes de alvenaria de blocos cerâmicos podem ser utilizadas como paredes corta-fogo, mas devem apresentar as dimensões mínimas necessárias para garantir o isolamento térmico e a estanqueidade, conseguindo assim desempenhar de forma satisfatória a função de compartimentação horizontal das edificações (ONO, 2007).

2.3.4 Resistência ao fogo das paredes de alvenaria

As paredes de alvenaria dependem de sua resistência ao fogo, para que assim possam funcionar como compartimentação horizontal em situação de incêndio (CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2004). Em termos simplificados, a propriedade que um ou mais elementos construtivos possuem de se opor ao avanço do fogo ou de proteger dele, é como se pode definir a resistência ao fogo (ONO, 2007). Conforme as principais normas nacionais e estrangeiras sobre a realização do ensaio para determinação da resistência ao fogo, tais como a NBR 5628 (ABNT, 2001), a NBR 10636 (ABNT, 1989), a ASTM E119 (ASTM, 2008) e a ISO 834 (ISO, 1999), no caso de uma parede de alvenaria a resistência ao fogo tem três níveis de segurança: adequação estrutural, estanqueidade e isolamento térmico. Estas normas estabelecem a ação térmica padrão a que os elementos que se deseja testar devem ser submetidos durante a realização dos ensaios.

A adequação estrutural é a habilidade que a parede tem em continuar desempenhando sua função estrutural na edificação durante todo o período de resistência ao fogo, preservando sua resistência mecânica. Levando em consideração que as paredes de alvenaria estrutural são responsáveis pela distribuição das cargas e dos esforços até as fundações, a adequação estrutural se torna ainda mais importante no sistema construtivo em alvenaria estrutural (SEITO et al., 2008). O próximo nível de segurança, a estanqueidade, é à capacidade que as paredes têm de manter sua continuidade, impossibilitando a passagem de chamas e gases quentes através de fissuras que venham a surgir, por um período de tempo determinado (SEITO et al., 2008).

E, por fim, Seito et al. (2008) afirma que o isolamento térmico diz respeito a habilidade que a parede tem durante o período de resistência ao fogo, de ter isolamento suficiente, de forma que o lado da parede oposto ao fogo não ultrapasse limites de temperatura predefinidos. Assim, além de impedir a propagação do fogo, o isolamento térmico contribui na proteção à vida dos ocupantes da edificação.

2.4.3 Processo construtivo

Conforme Thomaz e Helene (2000), o processo construtivo tem grande influência na resistência ao fogo da alvenaria, pois dentre outras características estabelece o tipo de argamassa utilizada para o assentamento dos blocos, espessura das juntas, e revestimento das paredes. A argamassa tem propriedades diferentes dos blocos cerâmicos, sendo assim a argamassa das juntas horizontais e verticais de assentamento, bem como o tipo das juntas, influenciam no isolamento térmico total da parede. A presença de enchimentos nos vazados dos blocos da alvenaria é outro fator de importante influência na resistência ao fogo associado ao processo construtivo. De acordo com Brick Industry Association (2008), com o enchimento dos vazados dos blocos com areia e com materiais de baixa massa específica, tais

¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com .

² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.

como escória, pedra-pomes, argila expandida, perlita e vermiculita, também pode ser obtido o aumento do isolamento térmico (BRICK INDUSTRY ASSOCIATION, 2008). A fim de aumentar a resistência ou a rigidez da alvenaria estrutural, muitas vezes são grauteadas. Com o grauteamento das paredes a condutividade térmica efetiva aumenta, aumentando assim a quantidade de calor absorvido e, conseqüentemente, proporcionando um maior isolamento térmico da alvenaria (OLIVEIRA, 1998; AL-HADHRAMI; AHMAD, 2008). Os revestimentos de argamassa em um ou em ambos os lados de uma parede também influenciam a resistência ao fogo das alvenarias com blocos cerâmicos (BEALL, 1994). O revestimento aumenta a espessura da parede, aumentando o isolamento térmico e assim a resistência ao fogo da parede. Porém, deve-se cuidar o fato de que o aumento do isolamento térmico proporcionado pela camada de revestimento, no lado exposto ao fogo, fica limitado ao tempo em que esta é capaz de ficar solidária à parede durante o ensaio ao fogo ou incêndio (OLIVEIRA, 1998).

2.5 Métodos experimentais de determinação da resistência ao fogo

A resistência ao fogo de uma parede de alvenaria é normalmente determinada por meio de ensaios longos e de custo elevado (BEALL, 1994). Conforme a literatura, de um modo geral, o ensaio de resistência ao fogo de uma parede de alvenaria de blocos cerâmicos é interrompido devido ao isolamento térmico, que deixa de ser atendido antes dos requisitos de resistência mecânica e estanqueidade. Este fato pode ser constatado em incêndios onde as paredes de alvenaria continuam de pé, enquanto outras partes da edificação são destruídas ou consumidas durante o fogo (BEALL, 1994; BRICK INDUSTRY ASSOCIATION, 2008). Existem normas regulamentadoras nacionais e estrangeiras para a realização destes para determinação da resistência ao fogo de paredes de alvenaria estrutural. No Brasil, tal ensaio é normatizado pela norma NBR 5628 (ABNT, 2001), que apresenta grande similaridade com as normas estrangeiras ASTM E 119 (ASTM, 2008) e ISO 834 (ISO, 1999). As principais exigências das normas citadas, abrangendo os aspectos referentes às amostras, instrumentação e medições são apresentadas na Tabela 1, onde fica mais evidente a semelhança entre a ISO 834 e a NBR 5628 (SILVA, V. P., 2007). A ação térmica controlada que deve ser aplicada no interior do forno é uma das principais diferenças encontradas entre as normas. Enquanto a ISO 834 e NBR 5628 estabelecem uma curva padronizada determinada por meio da Equação (1), a ASTM E 119 estabelece a curva de aquecimento por meio de uma série de pontos, apresentada na Tabela 2.

$$T = T_0 + 345 \log(8t + 1). \quad (1)$$

Onde: T = temperatura do forno em °C no instante t ; T_0 = temperatura inicial do forno em °C; e t = tempo em minutos a contar do início do ensaio.

¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com .

² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.

Tabela 1 - Comparação das principais exigências realizadas pelas normas ASTM E 119, ISSO 834 e NBR 5628.

Item	ASTM E 119	ISSO 834	NBR 5628
Primeira edição da norma	1917	1975	1980
Edição atual da norma	2008	1999	2001
Pressão interna do forno	não estabelece	2,0 mmca	1,5 mmca
Curva de aquecimento	série de pontos "tempo-temperatura"	Equação (1)	Equação (1)
Teste de jato de água	exige	não exige	não exige
Medição de temperatura no interior do forno	9 termopares afastados a 152 mm da face	1 "termômetro de placas" para cada 1,5 m ² de amostra, afastado a 100 mm da face	1 termopar com diâmetro entre 0,75 e 1,50 mm para cada 1,5 m ² de amostra, afastado a 100 mm da face
Requisito de resistência mecânica	deve suportar o carregamento sem ruína	define valor máximo e taxa de aumento máxima da deformações	ruína, deslocamentos transversais elevados ou deformações excessivas

Fonte: Adaptado de Rosemann (2011).

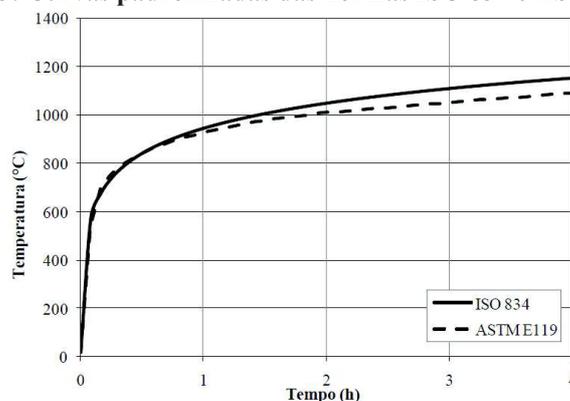
Tabela 2 - Pontos determinantes recomendados pela norma ASTM E119

Tempo	Temperatura (°C)
5 min	538
10 min	704
30 min	843
1 h	927
2 h	1010
4 h	1093
8 h	1093

Fonte: Rosemann (2011).

São representadas na Figura 03 as curvas padronizadas Temperatura-Tempo recomendadas pela ISO 834, NBR 5628 e ASTM E 119, sendo que as curvas propostas pelas normas ISO 834 e NBR 5628 são iguais.

Figura 03: Curvas padronizadas das normas ISO 834 e ASTM E119.



Fonte: Rosemann (2011).

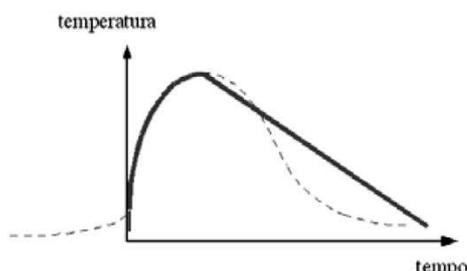
É importante salientar que a ação térmica aplicada de acordo com uma curva padronizada corresponde somente à fase de desenvolvimento do incêndio e assim, não representa com exatidão o desenvolvimento de um incêndio real (Figura 03). Assim sendo, o ensaio não representa o comportamento real das paredes em situações de incêndio, mas permite a determinação do tempo de resistência ao fogo e o comportamento das paredes sob a condição de um incêndio-padrão, permitindo uma avaliação qualitativa, que serve de base para comparação do desempenho ao fogo de diferentes elementos construtivos (BRICK

¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com .

² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.

INDUSTRY ASSOCIATION, 2008). Um exemplo de curva temperatura-tempo parametrizada e sua semelhança com a curva real de um incêndio é apresentada na Figura 04.

Figura 04: Modelo de incêndio natural (tracejada) e parametrizada (contínua).



Fonte: Silva et al. (2008).

Denota-se que a realização dos ensaios experimentais é complexa, independentemente da norma utilizada, pois além da construção de corpos de prova, demanda o uso de diversos instrumentos de monitoramento de temperatura tanto no interior quanto na face exterior da amostra e o uso de elevada quantidade de eletricidade ou combustível para aplicação da ação térmica (BRICK INDUSTRY ASSOCIATION, 2008). Isto pode dificultar repetições de um mesmo cenário ou a realização de ensaios com diferentes variáveis, como diferentes blocos, revestimentos e enchimentos (BEALL, 1994).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de identificar a influência de determinadas variáveis nos resultados dos ensaios em altas temperaturas, o programa experimental buscou averiguar como se comportam esses elementos em sete mini paredes, elaborados com materiais com características específicas, conforme descritos abaixo:

3.1 Materiais

- Bloco de alvenaria estrutural cerâmico
- Bloco de alvenaria estrutural em concreto
- Tijolo maciço
- Argamassa de Assentamento
- Gesso
- Areia
- Água potável.

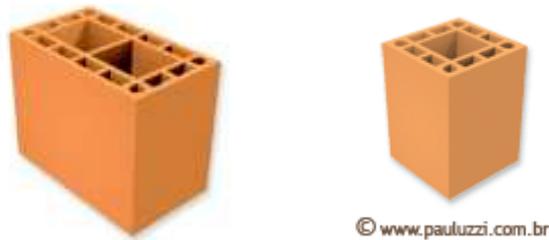
3.1.1 Bloco de alvenaria estrutural cerâmico

Serão utilizados dois tipos de blocos cerâmicos estruturais (Figura 05), provenientes da empresa Pauluzzi Produtos Cerâmicos Ltda., do município de Sapucaia do Sul (RS), com resistência à compressão nominal de 7 Mpa, e dimensões de 14 x 19 x 29 cm e 14 x 19 x 14 cm, respectivamente.

¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com .

² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.

Figuras 05: Blocos estruturais cerâmicos escolhidos.

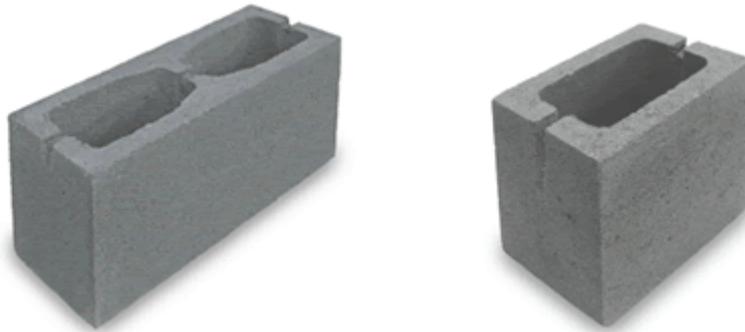


Fonte: www.pauluzzi.com.br

3.1.2 Bloco de alvenaria estrutural em concreto

Serão utilizados dois tipos de blocos estruturais de concreto (Figura 06), provenientes da empresa Tecmold Pisos, Tubos e Blocos de Concreto, do município de Gravataí (RS), com resistência à compressão nominal de 6 Mpa, e dimensões de 14 x 19 x 29 cm e 14 x 19 x 14 cm respectivamente.

Figuras 06: Blocos estruturais de concreto escolhidos.



Fonte: www.tecmold.com.br

3.1.3 Tijolo maciço

O bloco adotado foi de alvenaria maciça, fabricado pela empresa Olaria Lami, localizada em Porto Alegre (RS), com as seguintes dimensões: 9 x 9 x 19 cm e 5,3 x 9 x 19 cm.

3.1.4 Argamassa de assentamento

Será utilizada a argamassa para o assentamento dos blocos em alvenaria estrutural, Votoran Matrix 1202 (Figura 07) com resistência de 5 Mpa, própria para assentamento estrutural tanto para os blocos cerâmicos quanto para os de concreto. Para o assentamento do tijolo maciço, foi adotada argamassa do mesmo fabricante, denominado: Votoran Matrix 1201 (Figura 07). Ambos os materiais provenientes da empresa Votorantim Cimentos.

¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com.

² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.

Figuras 07: Argamassas de assentamento escolhidas.



Fonte: www.votorantincimentos.com.br

3.1.5 Gesso

Será utilizado o gesso adotado Gypsum Drywall Qualigesso 60 (Figura 08), gesso lento, indicado para revestimento em alvenarias de blocos cerâmicos ou de concreto, além de lajes e pilares. Material proveniente da fabricante Gypsum.

Figura 08: Gesso para revestimento escolhido.



Fonte: www.gypsum.com.br

3.2 Métodos

Os exemplares foram construídos em sete diferentes configurações: 02 em bloco de alvenaria estrutural cerâmico, 01 em bloco de alvenaria estrutural cerâmico revestida com gesso, 01 em bloco de alvenaria estrutural cerâmico preenchida com areia, 02 de bloco de alvenaria estrutural de concreto e 01 de tijolo maciço, todos sem revestimento, assentados com juntas de argamassa horizontal e vertical, como já mencionado. O desenvolvimento da pesquisa ocorreu nas dependências do Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LEME/UFRGS), envolvendo a utilização de um conjunto amostral moldado e avaliado pela equipe técnica do respectivo laboratório.

3.2.1 Descrição das mini paredes

Conforme Tabela 03 a seguir, os painéis possuem aproximadamente 75 cm de largura e 80 cm de altura, dimensões padronizadas de acordo com a modulação das fiadas dos blocos, possíveis ao acoplamento do elemento pronto ao forno de aquecimento.

Tabela 03: Especificação de dados para elaboração de mini paredes.

ESPECIFICAÇÃO DE DADOS PARA ELABORAÇÃO DE MINI-PAREDES			
BLOCO	DIMENSÃO DOS BLOCOS (LxHxC - cm)	RESISTÊNCIA DO BLOCO (Mpa)	DIMENSÃO DA MINI PAREDE (LxHxC - cm)
Cerâmico	14x19x29 e 14x19x14	7	14x79x74

¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com.

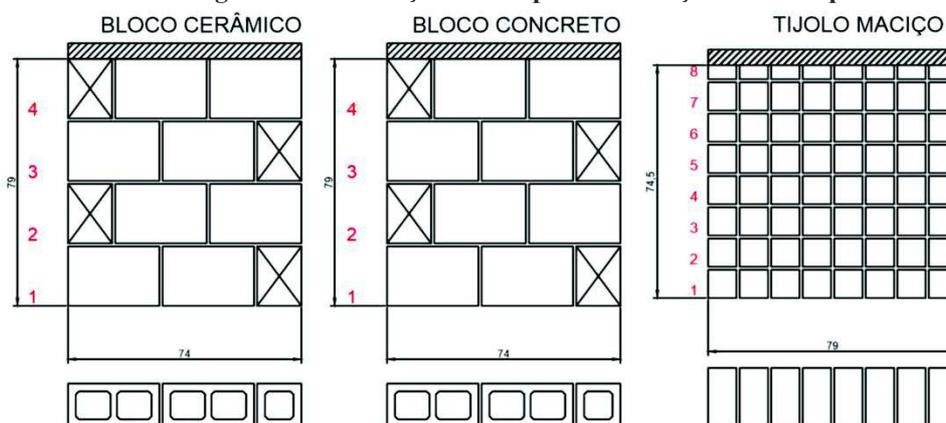
² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.

Concreto	14x19x14 e 14x19x14	6	14x79x74
Tijolo Maciço	9x9x19 e 5,3x9x19	-	19x74,5x79

Fonte: Elaborada pela autora.

O período de cura foi de 28 dias, a contar da data de assentamento dos blocos. Esta cura foi realizada em temperatura ambiente de laboratório, sendo as amostras mantidas na posição de assentamento até o dia anterior ao ensaio. Salienta-se que, posteriormente à finalização da montagem das mini paredes (Figura 09, 10 e 11), as células superiores foram fechadas com capeamento de concreto, com vistas a minimizar a fuga do calor pela parte superior dos blocos, onde estavam posicionados os furos deles, no caso dos blocos de alvenaria estrutural.

Figura 09: Modulação criada para elaboração das mini paredes.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 10: Desenvolvimento das mini paredes.



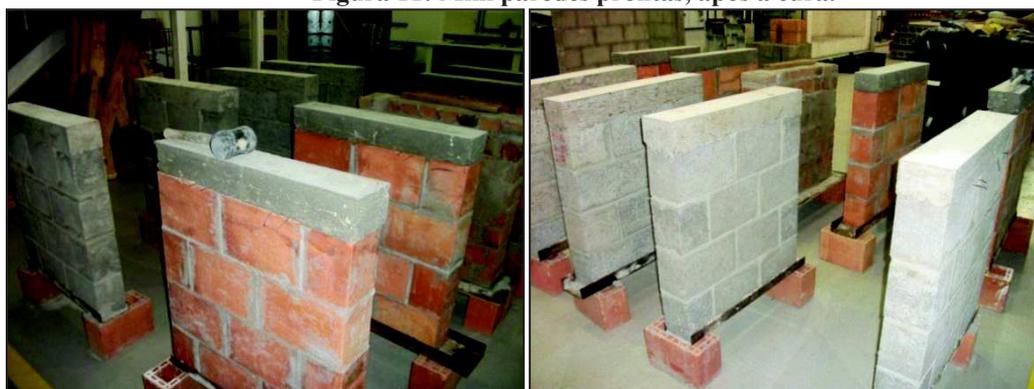
¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com .

² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 11: Mini paredes prontas, após a cura.



Fonte: Elaborada pela autora.

3.2.2 Estratégia do ensaio

A estratégia de ensaio adotada consistiu em expor as mini paredes a um aquecimento total de $900^{\circ}\text{C} \pm 5\%$, em uma de suas faces, por meio do uso de um forno com aquecimento programável. No decorrer do ensaio, a elevação da temperatura foi monitorada, tanto na face não exposta, como no interior da amostra. O painel foi mantido sob uma carga axial de 52,5 kN, representando um carregamento linear de 5,25 tf/m, simulando um edifício de quatro pavimentos. O procedimento tomou como base as recomendações da Norma Brasileira NBR 5628: “*Componentes Construtivos Estruturais – Determinação da Resistência ao Fogo*”, que estabelece como verificar o desempenho de um material como isolante térmico e sob condições de estanqueidade.

Para a realização do ensaio foi utilizada a seguinte metodologia:

- Execução de furos em diferentes profundidades, a partir da face não exposta (externa), para o posicionamento dos termopares.
- Acoplagem do painel ao forno (será ensaiado um por vez).
- Colocação dos termopares nos furos executados nos pontos de medida, conforme indicado no item 3.3 deste relatório, sendo eles colmatados com fibra cerâmica.
- Conexão dos termopares ao equipamento de leitura das temperaturas (*Datalogger*) e destes ao computador.
- Instalação do sistema de aplicação de carga, constituído de cilindro hidráulico, célula de carga e sistema de aquisição de dados.
- Aplicação da carga prevista com auxílio de um cilindro hidráulico.
- Acionamento do forno para aquecimento da face interna dos painéis, sendo adotada uma curva de incremento médio de temperatura, conforme prescrito pela NBR

¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com .

² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.

5628/2001, de acordo com a equação 3.1, até que seja atingida a temperatura de referência de $900^{\circ}\text{C} \pm 5\%$.

$$T - T_0 = 345 \log_{10} (8t + 1) \quad (3.1)$$

Onde:

T \Rightarrow temperatura do forno em $^{\circ}\text{C}$ no instante t;

T_0 \Rightarrow temperatura inicial do forno em $^{\circ}\text{C}$;

t \Rightarrow tempo em minutos a contar do início do ensaio.

- h) Manutenção da temperatura a $900^{\circ}\text{C} \pm 5\%$, com registro contínuo da curva de evolução das temperaturas lidas pelos termopares, até que se atinja uma condição limite.

Segundo a NBR 14432/2000 – *Exigências de Resistência ao Fogo de Elementos Construtivos – Procedimento*, o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) é definido como tempo mínimo de resistência ao fogo de um elemento construtivo quando sujeito a um incêndio padrão, até que ao menos uma das condições limites descritas na NBR 5628/2001 seja atingida, conforme listado abaixo:

- temperatura média na face não exposta ao calor de 140°C , acima da temperatura ambiente (condição de isolamento).
- temperatura em qualquer ponto da face não exposta ao calor de 180°C , acima da temperatura ambiente (condição de isolamento).
- aparecimento de fissuras no elemento que permitam a passagem de gases aquecidos capazes de inflamar uma bucha de algodão encharcada com álcool (condição de estanqueidade).
- ocorrência de colapso do elemento (condição de estabilidade),

O *CÓDIGO DE EDIFICAÇÕES DE PORTO ALEGRE*, artigo 44, exige um tempo mínimo de resistência ao fogo de 4 horas para elementos corta-fogo. Seguindo esta recomendação, caso nenhuma das condições limite acima descritas sejam atingidas, o ensaio é interrompido após o transcurso desse tempo de exposição, no patamar de $900^{\circ}\text{C} \pm 5\%$.

3.2.3 Equipamentos de ensaio

Para aplicação da carga, foi utilizado um cilindro hidráulico com capacidade de 30 tf, mobilizado com auxílio de uma bomba manual com limite de pressão de 10.000 psi. A medição da carga aplicada foi realizada com emprego de um sistema dotado de uma célula de carga com capacidade de 20 tf (200 kN), calibrada com precisão de 0,5 kN. Os equipamentos poderão ser visualizados na Figura 12.

Figura 12: Aspecto da bomba hidráulica e da célula de carga utilizadas no ensaio.



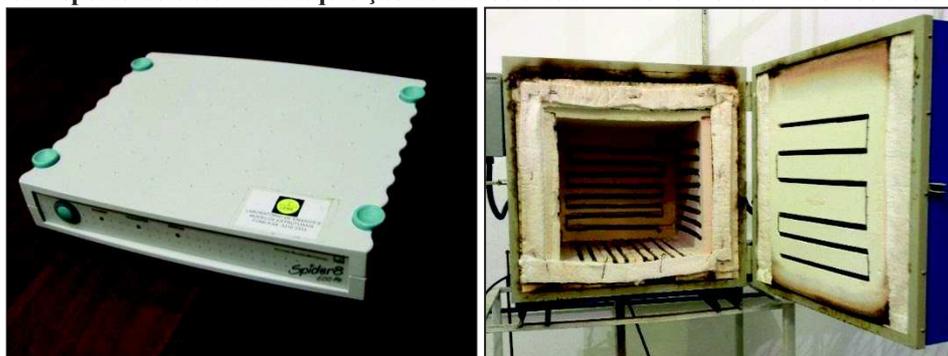
Fonte: elaborado pela autora.

¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com .

² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.

O registro das leituras de carga foi realizado através de um sistema de aquisição de dados tipo SPIDER, da HBM do Brasil (Figura 13). Estes dados são registrados num computador por meio do software Catman, o que permite o acompanhamento instantâneo da evolução da carga. Para o aquecimento em uma das faces do painel foi utilizado um forno elétrico, com potência de 18 kW/h, com controlador automático de temperatura digital microprocessado e precisão de 1°C. O forno apresenta uma porta frontal com abertura de 50 x 50 cm, sendo dotado de resistências em aço Kanthal A e de isolamento térmico em fibra cerâmica (Figura 13). Esse forno possui um dispositivo especial que permite o desligamento das resistências localizadas na porta. A capacidade do equipamento permite que se atinjam temperaturas de até 1050°C.

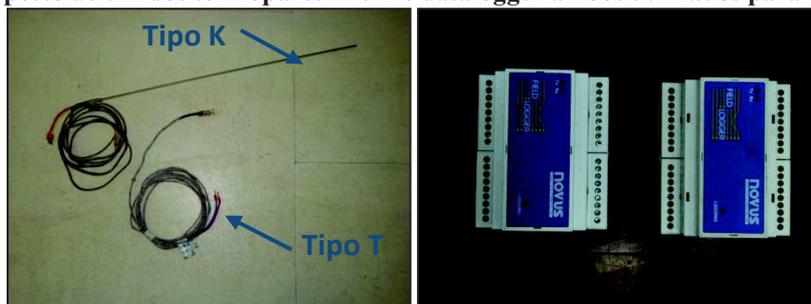
Figura 13: Aspecto do sistema de aquisição de dados e detalhe do forno utilizado nos ensaios.



Fonte: Elaborado pela autora.

A leitura das temperaturas ao longo da espessura do elemento é feita com termopares tipo K, que trabalham na faixa de temperatura entre -90°C e 1380°C. A leitura das temperaturas na face oposta ao calor é feita com termopares tipo T, que trabalham na faixa de temperatura entre -270°C e 400°C. A calibração destes termopares é realizada na fábrica, não necessitando de ajuste. A Figura 14 ilustra um dos termopares tipo K e outro tipo T (que possui uma seção circular para contato com a superfície do painel), utilizados nos ensaios em altas temperaturas. O registro das leituras dos termopares é realizado com auxílio de um datalogger monitorado por computador. O equipamento mostrado na Figura 14 permite a aquisição e registro de variáveis analógicas. Cada datalogger possui oito canais de entrada e pode ser conectado em série com outro equipamento igual, permitindo a leitura de um total de dezesseis canais. Os dados adquiridos são registrados num computador por meio de um software específico (FieldLogger), o que permite que seja acompanhada, através de gráficos, em tempo real, a evolução das temperaturas.

Figura 14: Aspecto de um dos termopares K e T e datalogger ambos utilizados para o ensaio.



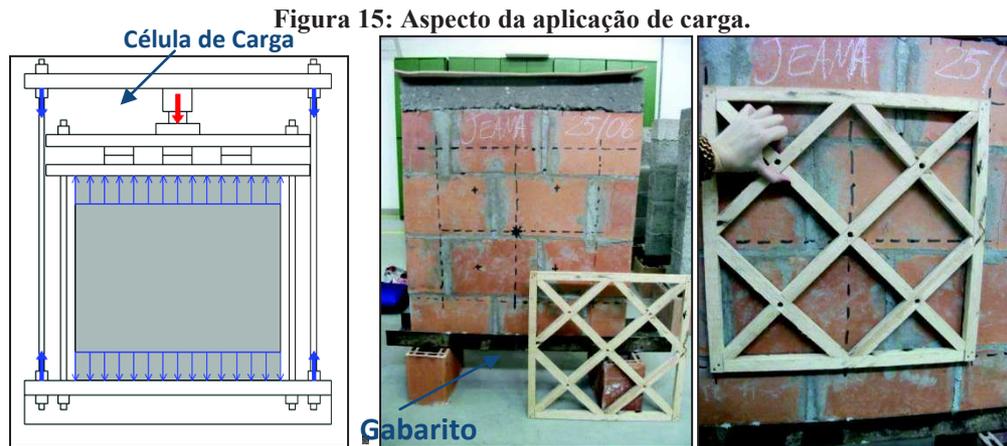
Fonte: Elaborado pela autora.

¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com .

² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.

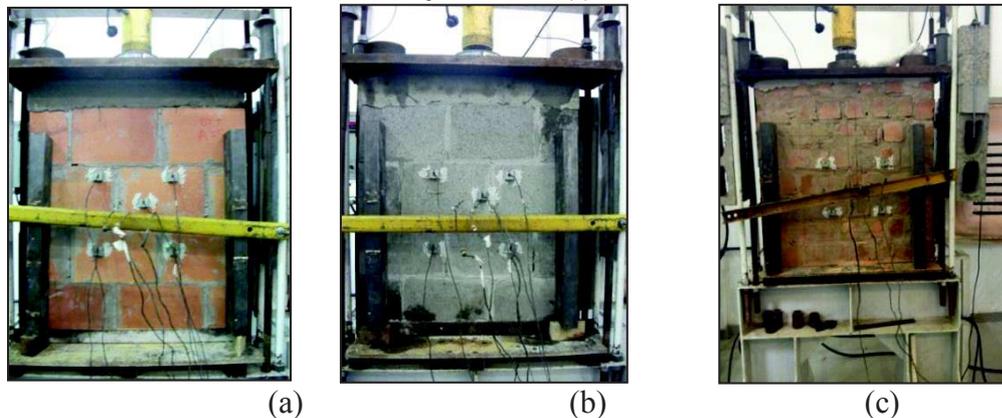
3.3 Instrumentação dos painéis

Logo após o posicionamento da parede ao forno, aplica-se a carga através do cilíndrico hidráulico. A célula de carga transmite a carga ao sistema de aplicação do pórtico de ensaio, conforme pode ser observado na Figura 18. Antes do acoplamento das paredes ao forno, elas foram perfuradas, conforme gabarito (Figura 15) para colocação de termopares em diferentes profundidades do elemento a ser analisado, com o intuito de obter dados com referência à evolução do perfil de temperaturas, na seção transversal do elemento construtivo.



Na Figura 16 observa-se o aspecto dos painéis após a instrumentação com termopares em diferentes posições.

Figura 16: Aspecto da instrumentação dos painéis, sendo o primeiro cerâmico (a), em concreto (b) e em tijolo maciço (c).



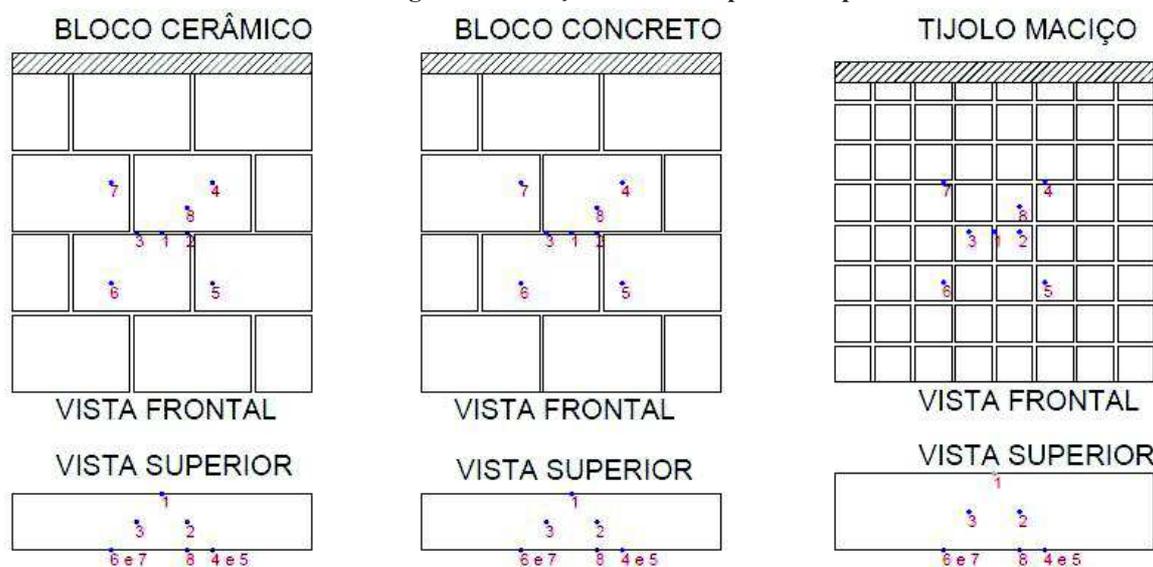
Salienta-se que as perfurações realizadas para colocação dos termopares foram distribuídas em quadro quadrantes e em torno da área central do painel, visto que, nesta posição, o fluxo de calor é praticamente unidirecional, evitando-se, dessa maneira, eventuais efeitos de borda. Após a colocação dos termopares, os furos foram tamponados com a utilização de fibra cerâmica.

A Figura 17 ilustra o detalhamento do painel, bem como as posições dos termopares para a composição do perfil de temperaturas ao longo do tempo.

¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com .

² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.

Figura 17: Posições dos termopares nos painéis.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Tabela 04, são apresentadas as profundidades dos termopares utilizados na composição do perfil de temperatura através dos painéis. Os termopares utilizados, como parâmetro para verificar os critérios de norma, foram os termopares 4, 5, 6 e 7. Ressalta-se que os termopares foram posicionados de tal forma que ficassem nas profundidades de 25%, 50% e 75% da espessura total da parede. Além destas, foram posicionados termopares nas faces interna (aquecida) e externa (não exposta ao calor).

Tabela 04: Posicionamento dos termopares na espessura dos painéis.

Termopar	Distância [mm]	
	Face Externa	Face Interna
0	Forno	Forno
1 (Meio)	145	0
2 (E)	75,0	75,0
3 (D)	75,0	75,0
4 (Ch. 1)	0	145
5 (Ch. 2)	0	145
6 (Ch. 3)	0	145
7 (Ch. 4)	0	145
8 (Ch. 5)	0	145

Fonte: Elaborado pela autora.

Os termopares de número 3, 4 e 6, posicionados a 75%, 50% e 25% da espessura total do painel, respectivamente, foram posicionados na junta de assentamento, de forma a garantir a profundidade desejada. O termopar 5 também foi colocado na espessura média do painel, entretanto, na célula do bloco de concreto. Já os termopares 7, 8, 9 e 10 foram posicionados na face não aquecida, de forma a verificar o retardo térmico através dos painéis.

¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com .

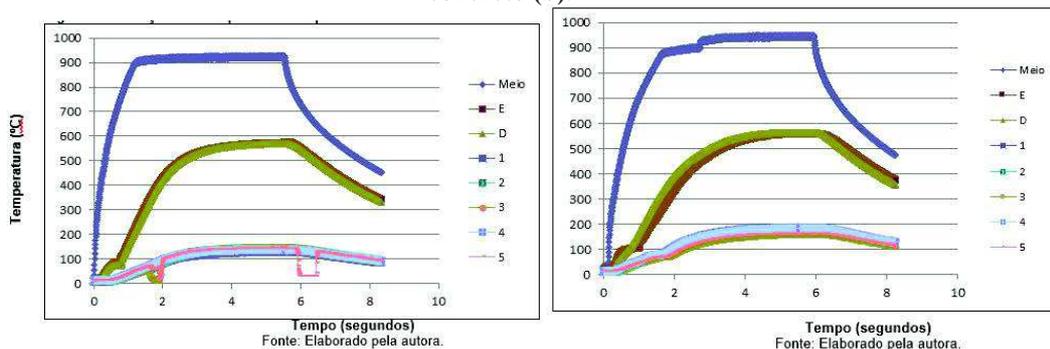
² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste item, serão apresentadas as análises e discussões dos resultados obtidos com os ensaios. Inicialmente, apresentam-se os resultados dos ensaios de eficiência térmica, isto é, a resistência à altas temperaturas, realizados nos painéis elaborados. A seguir, são destacados os resultados referentes aos ensaios de resistência mecânica, que compreendem a resistência à compressão dos elementos que não foram submetidos ao forno e, sim, somente à prensa. Finalmente, na última parte, serão analisados os resultados que esses ensaios geraram. As figuras abaixo apresentam as curvas de temperatura em função do tempo para os diferentes painéis e distintas profundidades medidas durante os ensaios, conforme referenciado no item 3.3.

As mini paredes, executadas em alvenaria de blocos cerâmicos (Ensaio 01, Figura 18 - a) e blocos de concreto (Ensaio 02, Figura 18 - b), ilustram a temperatura média de curva de aquecimento às quais foram submetidas e apresentam resultados bem semelhantes. Durante o ensaio, as paredes apresentaram algumas fissuras visíveis, sendo todas de dimensão inferior a 2 mm (Figura 21). Visualmente, também não foram verificados deformações ou deslocamentos transversais significativos, bem como qualquer outro sinal de comprometimento da estabilidade estrutural da parede.

Figura 18: Variação das temperaturas no painel em blocos cerâmicos (a) e painel em blocos de concreto (b).



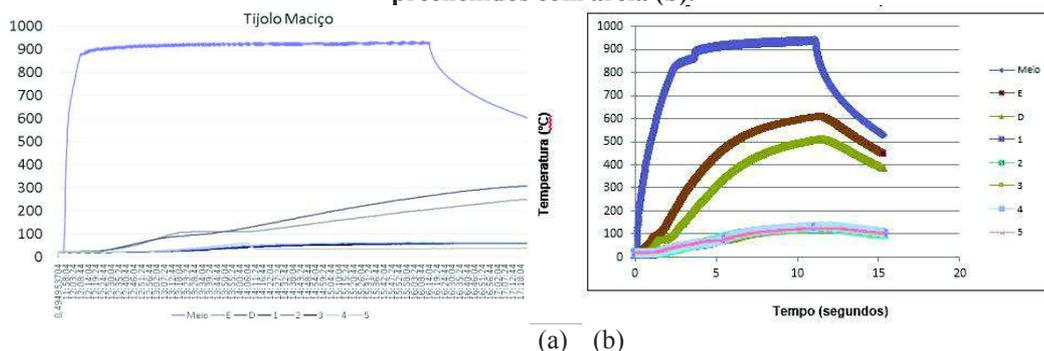
(a)(b)
Fonte: Elaborado pela autora.

O ensaio 01 atingiu a temperatura de 900°C com 1 hora e 7 minutos e obteve duração de 8 horas e 20 minutos, sendo alcançada a temperatura média máxima de 928°C. A face não exposta ao calor chegou a 140°C, após 3 horas e 23 minutos. O ensaio 02 atingiu a temperatura de 900°C em 2 horas e 23 minutos, com duração de 8 horas e 38 minutos, sendo atingida a temperatura média máxima de 950°C. A face não exposta ao calor atingiu 140°C, após 55 minutos.

¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com .

² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.

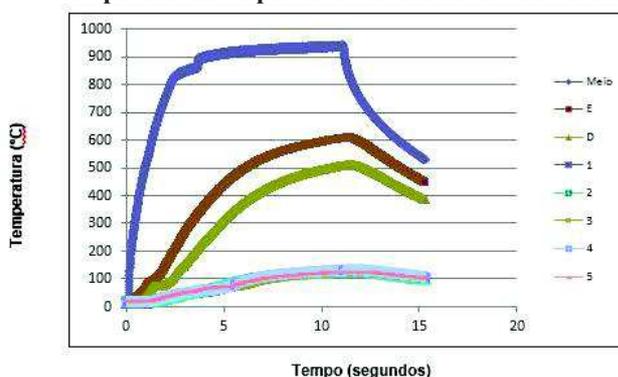
Figura 19: Variação das temperaturas no painel em tijolo maciço (a) e painel em blocos cerâmicos preenchidos com areia (b).



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 19 (Ensaio 03), executada em tijolo maciço, ilustra a temperatura média de curva de aquecimento à qual esta foi submetida. Esse ensaio obteve duração de 6 horas e 30 minutos, sendo atingida a temperatura média máxima de 936°C.

Figura 20: Variação das temperaturas no painel em bloco cerâmico revestido com gesso.



Fonte: Elaborado pela autora.

A temperatura da face não exposta elevou-se até atingir 140°C após 2 horas e 14 minutos, posterior ao início do ensaio. A parede apresentou poucas fissuras visíveis (Figura 21), em razão da característica do material do bloco. Visualmente, também não foram verificados deformações ou deslocamentos transversais significativos, bem como qualquer outro sinal de comprometimento da estabilidade estrutural da parede.

Os painéis executados em alvenaria de blocos cerâmicos, com os vazados preenchidos com areia (Ensaio 04, Figura 19), e revestida com gesso (Ensaio 05, Figura 20) ilustram as temperaturas médias de curva de aquecimento às quais foram submetidas e apresentam resultados bem semelhantes quanto ao gráfico, porém seu resultado visual apresentou diferença significativa. O ensaio 04 obteve duração de 9 horas e 01 minuto, sendo atingida a temperatura média máxima de 935°C. A face não exposta ao calor não atingiu a temperatura de 140°C e chegou apenas a 97°C, enquanto internamente chegava a 667°C. Nesta faixa de temperatura, a maior parte do calor que atravessava a parede foi consumida para a evaporação da água contida nos blocos e, principalmente, na areia existente nos vazados, que é um material altamente higroscópico. Este fato fez com que a temperatura da face externa do painel sofresse um aumento muito reduzido, até que a umidade existente no interior da parede fosse totalmente evaporada. Conseguiu-se um melhor controle na temperatura do forno em relação ao ensaio das paredes sem preenchimento. Durante o ensaio, a parede apresentou

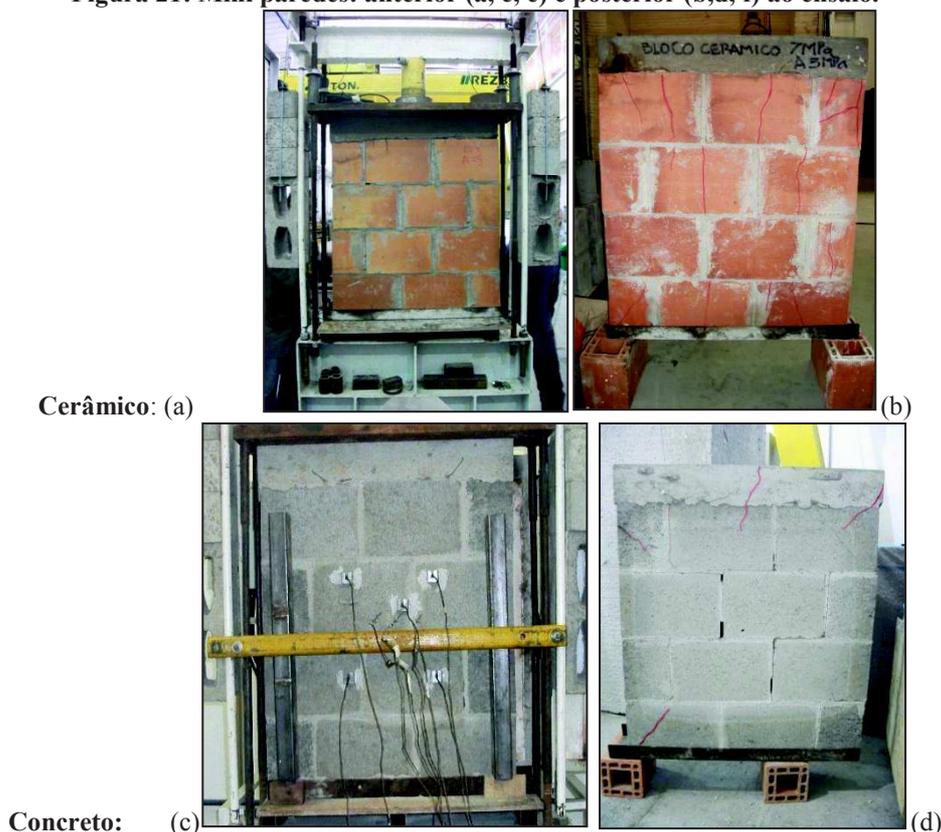
¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com .

² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.

pouca fissuração; as primeiras fissuras apareceram após 2 horas e 24 minutos (Figura 21). Visualmente, também não foram verificados deformações ou deslocamentos transversais significativos, bem como qualquer outro sinal de comprometimento da estabilidade estrutural da parede. Deve-se salientar que não foi efetuado o controle da umidade da areia utilizada para o preenchimento dos vazados no instante do ensaio, embora tenha se verificado que a sua umidade, ao consumir calor para a evaporação, contribuiu para o aumento na resistência ao fogo pelo critério de isolamento térmico.

Para o painel revestido com gesso (ensaio 05), a temperatura média máxima foi de 942°C. A face não exposta ao calor não atingiu a temperatura de 140°C e chegou apenas a 130°C, enquanto internamente chegava a 838°C. O ensaio teve duração de 7 horas e 40 minutos. Alcançou-se um melhor controle na temperatura do forno em relação ao ensaio das paredes sem preenchimento. Durante o ensaio, a parede apresentou pouca fissuração, porém a face exposta diretamente ao fogo sofreu um deslocamento em função de o gesso ser um material cujo componente principal é água e esta não resistiram completamente à absorção do calor aplicado. A olho nu, também não foram vistas nem deformações nem deslocamentos transversais significativos, assim como qualquer outro sinal de comprometimento da estabilidade estrutural da parede.

Figura 21: Mini paredes: anterior (a, c, e) e posterior (b,d, f) ao ensaio.



¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com .

² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.



Tijolo Maciço: (e)

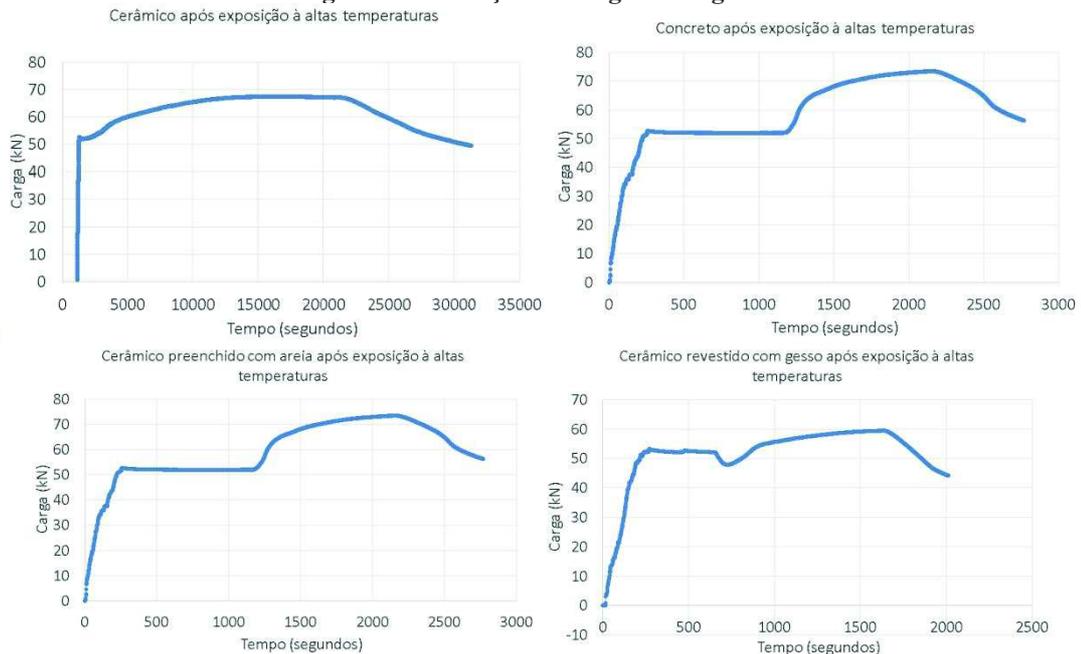


(f)

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 22, na sequência, apresenta a curva da carga aplicada em função do tempo de ensaio. Verifica-se que há um aumento da carga ao longo dos experimentos devido às tensões de confinamento causadas nos painéis em razão da expansão dos materiais quando submetidos a temperaturas elevadas. O aumento da carga foi de aproximadamente 30% comparado à carga inicial de 52,6 kN, mostrando-se mais resistente os elementos desenvolvidos com blocos cerâmicos.

Figura 22: Variação da carga ao longo do ensaio.



Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme a tabela 05, abaixo, são apresentados os dados necessários para verificação de resistência mecânica, isto é, após os resultados, os painéis foram submetidos a ensaio de resistência à compressão em uma prensa. Além destes, foram ensaiados dois elementos sem exposição ao fogo, sendo um em blocos cerâmicos e o outro em concreto, com as mesmas características de dois dos painéis ensaiados, a fim de avaliar a perda de resistência após a

¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com .

² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.

combustão. Verificou-se que as paredes queimadas reduzem sua resistência em 50% de uma parede sem danos, atingindo um valor mínimo de 2,04 Mpa.

Tabela 05: Comparativo entre os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão.

Descrição Mini Paredes	Ensaio de resistência à compressão	
	Força (kN)	Tensão (Mpa)
Cerâmico	487	4,70
Concreto	482	4,65
Cerâmico submetido à alta temperatura	274,75	2,65
Concreto submetido à alta temperatura	238	2,14
Cerâmico preenchido com areia	289	2,79
Cerâmico revestido com gesso	229	2,04

Fonte: Elaborado pela autora.

Na tabela a seguir são apresentados os dados necessários para verificação do atendimento aos parâmetros previstos na Norma Brasileira NBR 5628/2001 quanto ao isolamento térmico. A tabela apresenta a evolução das temperaturas ao longo da espessuras dos protótipos, sendo possível observar os valores de tempo equivalente e as temperaturas correspondentes, registradas pelos termopares em determinado momento do ensaio. O tempo equivalente foi obtido por meio de uma correlação entre a temperatura medida experimentalmente e a temperatura teórica calculada de acordo com a Equação 3.1.

Tabela 06: Resultados obtidos do ensaio no painel.

Descrição Mini Paredes	Tempo eq [min]	Termopar							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		Temperatura [°C]							
Cerâmico	30 eq	670	83	74	16	17	16	19	19
	60 eq	863	189	175	40	42	38	43	46
	90 eq	905	336	318	62	69	57	71	73
	120 eq	919	443	433	92	98	103	102	104
	240 eq	916	554	550	125	138	140	135	140
Concreto	30 eq	455	86	64	22	19	17	26	20
	60 eq	698	103	162	51	49	46	52	47
	90 eq	836	226	290	75	74	65	78	67
	120 eq	890	334	391	108	101	79	109	85
	240 eq	939	511	531	172	164	143	170	149
Tijolo maciço	30 eq	903	28	26	19	22	22	22	22
	60 eq	918	60	65	21	23	22	24	25
	90 eq	921	108	93	29	31	28	32	36
	120 eq	919	109	113	40	40	37	46	53
	240 eq	923	168	217	58	55	54	63	36

¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com .

² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.

Cerâmico preenchido com areia	30 eq	591	60	46	11	13	13	14	14
	60 eq	812	165	96	15	15	16	16	18
	90 eq	900	198	191	30	27	29	29	31
	120 eq	910	293	277	42	39	42	42	41
	240 eq	921	438	433	62	65	63	62	57
Cerâmico revestido com gesso	30 eq	508	61	33	14	16	16	17	17
	60 eq	750	140	79	29	28	28	33	32
	90 eq	848	261	152	46	45	47	50	49
	120 eq	903	357	236	56	58	58	60	62
	240 eq	927	530	419	105	103	92	108	100

Fonte: Elaborado pela autora.

Durante o período de ensaio, os termopares 4, 5, 6, 7 e 8, colocados na face não aquecida, que corresponde às curvas 1, 2, 3, 4 e 5 do gráfico anterior, não apresentaram temperatura acima do limite, que seria $180^{\circ}\text{C} + 16^{\circ}\text{C}$ (temperatura ambiente) ou, na média de $140^{\circ}\text{C} + 16^{\circ}\text{C}$.

Estes resultados indicam que o tempo de resistência a altas temperaturas dos painéis podem ser considerados como superior a 4 (quatro) horas. A Lei Complementar nº 420/98, de Porto Alegre, exige, no seu artigo 18, que os elementos ensaiados sejam equivalentes a uma parede de 23 cm, sendo resistentes ao fogo por 4 horas. Visto que o painel atingiu a temperatura máxima média de 60°C (mínimo) a 140°C (máximo) aos 470 minutos equivalentes (após desligamento do forno), pode-se considerar que o painel ensaiado apresenta um comportamento mínimo exigido de uma parede de alvenaria maciça, rebocada em ambas as faces, com espessura de 23 cm. Um componente é dado como estanque se, sob efeito do calor, ele não sofra fissuração que permita a passagem de gases quentes, revelada através da não inflamação de um chumaço de algodão. Como não se observaram fissuras que permitissem a liberação de gases quentes através dos painéis, o teste do chumaço de algodão não precisou ser realizado.

De acordo com os resultados anteriores, nenhuma das condições limites impostas pela NBR 5628/2001 foi atingida no decorrer do ensaio. O pico de temperatura interna do forno de $900^{\circ}\text{C} \pm 5\%$, foi atingido 1h00min após iniciado o aquecimento do forno, mantendo-se, nesta faixa de temperatura, por um total de 4h, quando foi estabelecido o encerramento do ensaio e o desligamento do forno, de acordo com o CÓDIGO DE EDIFICAÇÕES DE PORTO ALEGRE, de 1992. Destaca-se que, mesmo tendo o forno sido desligado após 4h de permanência do pico de temperatura, manteve-se a medição das temperaturas dos termopares por um período de, aproximadamente, mais 3 horas, para que fosse obtido o comportamento de resfriamento do forno.

Em relação à degradação do material, foi observado que as faces não expostas ao forno não apresentaram degradação significativa devido aos efeitos da temperatura. Após a abertura do forno, examinaram-se visualmente as faces expostas diretamente ao calor, constatando-se a ocorrência de decomposição da argamassa de revestimento situada nas juntas expostas do painel, como pode ser observado na Figura 21. Este fato pode ser explicado pela decomposição dos compostos de silicato de cálcio hidratado e de hidróxido de cálcio presentes na argamassa, devido às reações de desidratação da pasta de cimento. As fissuras geradas não se propagaram para a face não exposta ao fogo e, por esta razão, não chegaram a

¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com .

² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.

permitir a passagem de gases aquecidos, capazes de inflamar uma bucha de algodão com álcool, permanecendo o painel estanque a gases quentes.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou reproduzir uma situação real de incêndio para, assim, avaliar a eficiência térmica e a resistência mecânica dos componentes dos sistemas de compartimentação verticais estruturais, com carregamento de 52,5 kN, expostos por meio das distintas mini paredes ensaiadas e exemplificadas anteriormente. Logo, diante da execução desse programa experimental, das análises, das discussões e dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- a realização de ensaios em escala reduzida mostrou-se viável à consecução dos objetivos de análise dinâmica de propagação do incêndio e de resistência dos materiais, apresentando resultados coerentes de forma qualitativa e quantitativa, bem como reduzindo o custo.
- o ensaio realizado indicou que a transmissão de calor nos painéis avaliados dá-se com um bom retardo térmico. Os dados coletados indicaram uma estimativa de tempo de resistência a altas temperaturas superior a quatro horas, para as condições de ensaio adotadas. Este resultado pode ser visto como um bom indicativo quanto ao comportamento, em termos de isolamento térmico, que seria apresentado pelo elemento em situações de incêndio.
- com a aplicação de revestimento de gesso, obteve-se aumento de 80% da resistência e, com o preenchimento de areia nos vazados principais dos blocos, o acréscimo verificado foi de 100%. Logo, o emprego destes é uma boa alternativa para o aumento da resistência ao fogo, a um custo relativamente baixo.
- quanto à estanqueidade a gases quentes, pode-se concluir que os elementos ensaiados apresentaram boas condições, pois resistiram a mais de quatro horas de ensaio, sem permitir o vazamento significativo de gases quentes. Assim, pode-se comparar o comportamento do elemento ensaiado com o de uma parede de alvenaria construída com tijolos maciços, com reboco de ambos os lados, com espessura de 23 cm, atendendo ao Artigo 18 da Lei Complementar nº 420/98, de Porto Alegre, RS.
- quanto à resistência mecânica (ensaio à compressão), os painéis mantiveram-se íntegros por um determinado tempo, rompendo em uma tensão mínima de 2,04 Mpa, preservando e desempenhando sua função estrutural; contudo, a redução de resistência chega a 50% da (resistência) de um painel que não foi submetido ao fogo.
- Constatou-se também que, após o término dos ensaios, os elementos ensaiados mantiveram a sua integridade, não apresentando ruptura.

No intuito de dar continuidade a esta pesquisa, deixam-se as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- examinar uma amostra para cada configuração de parede, realizando-se repetições dos ensaios, a fim de se permitir uma conclusão definitiva sobre o assunto;
- realizar ensaios variando características construtivas das paredes, de modo a avaliar a influência do tipo de bloco, das diferentes resistências e geometrias, dos revestimentos com diferentes espessuras ou de outros materiais com propriedades isolantes para o preenchimento dos vazados dos blocos;

¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com .

² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.

- analisar a eficiência de demais situações reais, como, por exemplo, combinações dos sistemas de compartimentação interna e externa (horizontal e vertical), simulando incêndio;
- analisar a influência da direção e da intensidade do vento na propagação externa do fogo, utilizando ensaios em escala reduzida.

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS. **ASTM E119**: Standard methods for fire tests of building construction and materials. Philadelphia, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5628**: Componentes construtivos estruturais – determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 10636**: Paredes divisórias sem função estrutural – Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 13860**: Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 14432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 15812-1**: Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos – Parte 1: projetos. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15812-2**: Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos – Parte 2: execução. Rio de Janeiro, 2010.

BARBOSA, C. S. **Resistência e deformabilidade de blocos vazados de concreto e suas correlações com as propriedades mecânicas do material constituinte**. 2004. 162f. Dissertação (Mestrado em Engenharia das Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

BEALL, C. **Calculating masonry's fire resistance**. Masonry Construction Magazine. Agosto 1994. 4 p. Disponível em <<http://www.masonryconstruction.com/>>. Acesso em 18 de novembro de 2012.

BRICK INDUSTRY ASSOCIATION – BIA. **Technical Note 16: Fire resistance of brick masonry**. Reston, VA, 2008. 16 p.

CHICHERCHIO, L. C. Conforto ambiental: Desempenho térmico e acústico e proteção contra o fogo. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA - ABCI. **Manual técnico de alvenaria**. São Paulo: ABCI, 1990. p. 119-141.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Compartimentação horizontal e compartimentação vertical – Instrução Técnica nº 9**. São Paulo, 2004.

¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com .

² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.

CORPO DE BOMBEIROS DA BRIGADA MILITAR DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL – CBBM. **Dados da Divisão de Operações da Defesa Civil 2010**. Disponível em <<http://www.bombeiros-bm.rs.gov.br>>. Acesso em 02 de novembro de 2012.

COSTA, C. N. **Dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio**. 2008. 405 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

HARRIS, T. **How fire works**. 14 May 2002. HowStuffWorks com. <[HTTP://science.howstuffworks.com/environmental/earth/geophysics/fire.htm](http://science.howstuffworks.com/environmental/earth/geophysics/fire.htm)>. Acesso em 10 de novembro de 2012.

ISO, ISO 834-8:2002. **Fire-resistance tests -- Elements of building construction -- Part 8: Specific requirements for non-loadbearing vertical separating elements**.

Lei Complementar nº 284/92 – 5. ed. do Código de Edificações, Institui o **Código de Edificações de Porto Alegre**.

Lei Complementar nº 420 /1998– **Código de Proteção contra Incêndio de Porto Alegre – CORAG** – Assessoria de Publicações Técnicas.

LIMA, Alexandre Nascimento de. **Análise experimental da influência da resistência e espessura da argamassa de assentamento no desempenho mecânico de prismas de blocos cerâmicos**. 2010. 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Estruturas) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia. Maceió, 2010.

MARCATTI, J.; COELHO FILHO, H. S.; BERQUÓ FILHO, J. E. Compartimentação e afastamento entre edificações. In: SEITO, A. I. et al (Coord.). **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 169-179.

MITIDIERI, M. L. O comportamento dos materiais e componentes construtivos diante do fogo - reação ao fogo. In: SEITO, A. I. *et al.* (Coord.). **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 55-75.

ONO, R. Parâmetros para garantia da qualidade do projeto de segurança contra incêndio em edifícios altos. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 97-113, 2007.

OLIVEIRA, L. A. P. de. **Estimativa da resistência ao fogo de paredes de alvenaria pelo critério de isolamento térmico**. Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo, nº 05, dezembro 1998. 10 p.

PRUDÊNCIO JÚNIOR, L. R.; OLIVEIRA A. L.; BEDIN, C. A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis: Gráfica Pallotti, 2002.

RAMALHO, M. A. e CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2003. 174 p.

RAZENTE, J. A. **Aplicação de recursos computacionais em projetos de edifícios em alvenaria**. São Carlos, 2004. 188 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com.

² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.

ROSEMANN, F. **Resistência ao fogo de paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos pelo critério de isolamento térmico** 2011. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SANTOS, M. J. F. **Análise da resistência de prismas e pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica para diferentes tipos de argamassas**. 2008. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

SEITO, A. I. et al. **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo : Projeto Editora, 2008.

SILVA, V. P. Considerações sobre as normas brasileiras de estruturas em situação de incêndio. **Revista Incêndio**, n. 46, p. 52-57, 2007.

SILVA, V. P. et al. Segurança das estruturas em situação de incêndio. In: SEITO, A. I. et al. (Coord.). **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 135-167.

THOMAZ, E.; HELENE, P. **Qualidade no projeto e na execução de alvenaria estrutural e de alvenarias de vedação em edifícios**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, BT/PCC/252. São Paulo: EPUSP, 2000. 31 p.

VILLAR, F. H. R. **Alternativas de sistemas construtivos para condomínios residenciais horizontais - estudo de caso**. São Carlos, 2005. 139 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

_____. **Pauluzzi Produtos Cerâmicos Ltda.** Disponível em <http://www.pauluzzi.com.br/produtos.php?id=7MPa14>

_____. **Tecmold Pisos, Tubos e Blocos de Concreto**. Disponível em http://www.tecmold.com.br/produtos/produto_lajes.html

_____. **Votorantin Cimentos**. Disponível em <http://www.votorantincimentos.com.br/htmsptb/Produtos/ProdutosComplementares/Matrix.htm>

_____. **Gypsum**. Disponível em <http://www.gypsum.com.br/web/pt/produtos/qualigesso-60.htm>

¹ Jeanna de Campos Cunha é Arquiteta e Urbanista, Pós-graduanda do Curso de Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade - da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). E-mail: jeannacunha@hotmail.com.

² Luiz Carlos Pinto da Silva Filho é PhD em Engenharia Civil e diretor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lcarlos66@gmail.com.