

## **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DOS SISTEMAS DE FECHAMENTO PRÉ-FABRICADOS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO ESTRUTURADA EM AÇO**

**Henor A. de Souza (1); Hélder L. Fransozo (2); Guilherme A. Braga (3); William L. Fernandes (4)**

(1) DECAT/EM/UFOP, Campus Universitário, 35.400-000 Ouro Preto – MG  
31- 3559.1482/3.559.1533  
e-mail:henor@em.ufop.br

(2) Pós – Graduação em Eng. Civil – Construção Metálica – DECIV/EM/UFOP  
Ouro Preto-MG. E-mail: fransozo@ouropreto.com.br

(3) Graduação em Eng. Controle e Automação – EM/UFOP. E-mail:toybr@ig.com.br

(4) Graduação em Eng. Civil – EM/UFOP. E-mail:wlfernandes13@yahoo.com.br

### **RESUMO**

O aço está se tornando um elemento construtivo bastante importante na construção civil brasileira. Isto se deve às vantagens que ele apresenta, tais como: alta eficiência construtiva, alívio das fundações em relação a estruturas feitas em concreto, redução do tempo de construção e do volume de desperdícios em obra, e as diversas possibilidades arquitetônicas oferecidas. Somando todas estas vantagens a um projeto que integre, de maneira eficaz, os vários sistemas associados ao aço, as edificações em estrutura metálica têm a possibilidade de conduzir a empreendimentos eficientes e economicamente viáveis. Dentre os sistemas complementares em uma edificação metálica, um dos mais importantes é o sistema de fechamentos, para o qual o mercado brasileiro já apresenta diversos tipos de painéis industrializados. Para que a escolha dos fechamentos represente uma solução eficiente, é necessário que se leve em conta tanto detalhes construtivos, como a capacidade de bom desempenho térmico. Neste trabalho apresenta-se um estudo comparativo de desempenho térmico dos painéis em placa cimentícia, em pré-moldado de concreto, em concreto celular autoclavado, em poliestireno expandido, em gesso acartonado e também a alvenaria de tijolo cerâmico. Os resultados obtidos determinam qual o tipo de sistema de fechamento de uma edificação mais adequado para a obtenção da condição de conforto térmico para os seus ocupantes.

### **ABSTRACT**

The steel is becoming a quite important constructive element in the Brazilian construction industry. This is due to the advantages that it presents, such as: high constructive efficiency, relief of the foundations in relation to structures done in concrete, reduction of construction time, reduction of the volume of wastes in work, and the several architectural possibilities that metallic structures offer. Adding all these advantages to a project that integrates, in an effective way, the several systems associated to the steel, the constructions in metallic structure have the possibility to drive to efficient and economically viable enterprises. Among the complementary systems in a metallic construction, one of the most important is the closure system, for which the Brazilian market already presents several types of industrialized panels. The closure system selection must take into account constructive details as well as the capacity of good thermal performance. In this work a comparative study of thermal performance of ceramic brick masonry and of panels in cemented plate, in premoulded concrete, in cellular concrete, in expanded polystyrene and in wizened plaster was carried

out. The results show which type of closure system is more appropriate to promote thermal comfort conditions for the buildings occupants.

## **1. INTRODUÇÃO**

A construção civil no Brasil, durante boa parte do século XX, teve o concreto como principal material para a construção de edificações; material este que, aliado a alvenaria tradicional, dominava o mercado nacional, sem que houvesse uma concorrência significativa. No entanto, na década de 90, este quadro começou a se alterar havendo uma maior demanda por edificações comerciais e residenciais em aço (von KRUGER et al., 2000). O desenvolvimento de tecnologias para essa tipologia construtiva, assim como sua divulgação, ficaram em segundo plano, já que se estabeleceu uma cultura do concreto no país. Essa cultura surgiu pelas facilidades de aprendizagem, de aquisição e de execução apresentadas pelo concreto. O concreto armado é, ainda hoje, o principal modelo estrutural adotado na maioria das construções brasileiras, entretanto, o aço está sendo redescoberto pelos projetistas e empreendedores da construção, pois é um sistema que apresenta grandes potencialidades para construções industrializadas, com a possibilidade da redução de prazos, de desperdícios e de mão de obra, além da racionalização e exatidão do processo.

O sistema de fechamento das edificações é uma das etapas mais importantes no processo construtivo como um todo, pois está diretamente ligado à imagem e ao conforto de qualquer edificação. Percebeu-se que sua racionalização pode resultar em redução de custos e desperdícios nos demais subsistemas, como esquadrias, instalações e revestimentos, e como se deseja chegar a um processo eficiente na construção metálica, é preciso desenvolver sistemas complementares que funcionem e sejam aceitos pelos usuários e pela comunidade técnica (SALES et al., 2001).

Atualmente, na construção com estrutura metálica, ainda se vê, com frequência, o uso de fechamentos convencionais em alvenaria, o que é problemático, pois esses são sistemas que possuem tempos de execução não condizentes e interfaces construtivas nem sempre bem resolvidas. A associação da estrutura metálica à alvenaria convencional não implica na ocorrência de problemas de compatibilidade, mas se as diferenças não forem consideradas em pontos específicos durante as etapas de concepção, projeto e construção, fatalmente os problemas aparecerão. A introdução do uso de painéis de fechamento industrializados é cada vez maior nos canteiros de obra, entretanto, nem sempre tais elementos são usados adequadamente e com todo o seu potencial de racionalização. É comum se detectar o uso de componentes de fechamento inovadores sendo utilizados de maneira tradicional, o que pode gerar problemas a serem resolvidos durante a obra e, até mesmo, problemas futuros para os usuários da edificação. Na verdade, os sistemas de fechamento ainda precisam ser acertados e incorporados ao nosso ambiente e ao processo construtivo desde sua concepção.

Com o objetivo de se avaliar o desempenho térmico de vários sistemas de fechamento existentes no mercado brasileiro, o presente trabalho apresenta um estudo comparativo de desempenho térmico, realizado através de simulações computacionais para edificações em estrutura metálica que utilizam estes painéis pré-fabricados. Avaliam-se os painéis em placa cimentícia, concreto maciço, concreto celular autoclavado, painéis de poliestireno expandido e também a alvenaria de tijolo cerâmico para os fechamentos externos. Para os fechamentos internos, são avaliados os painéis de gesso acartonado e a alvenaria de tijolo cerâmico. Neste estudo são levados em consideração os princípios da arquitetura climática, as propriedades dos materiais, bem como as fontes internas e externas de calor em relação ao ambiente analisado. As simulações computacionais foram realizadas utilizando-se o Programa ESP-r (CLARKE, 1993).

## **2. SISTEMAS DE FECHAMENTO PRÉ-FABRICADOS**

### **2.1 PAINEL DE GESSO ACARTONADO**

Os painéis de gesso acartonado são compostos de placas de gesso revestidos com folhas de papelão em ambos os lados, sendo que estes conferem às placas de gesso estrutura necessária a resistência à tração e compressão, trabalhando comparativamente ao concreto armado, onde o papelão garante

resistência à tração (similar ao aço) e o gesso possibilita resistência à compressão (similar ao concreto) (Figura 1). As placas de gesso acartonado possuem, na sua maioria, dimensões nominais de 1,20 m de largura e de 2,60 m a 3,00 m de comprimento, sendo de 12,5 mm, 15,0 mm e 18,0 mm as espessuras mais empregadas. Existem basicamente, placas padrão para paredes sem exigência específica, hidrófuga para paredes empregadas em ambientes sujeitos à umidade (banheiros, cozinhas e áreas de serviço) e resistente ao fogo para paredes com exigências especiais de resistência ao fogo. Para a fixação destes painéis, são usados guias e montantes tanto em madeira quanto em aço, com tratamento superficial em alumínio ou zinco, sendo o último mais utilizado (MITIDIARI, 1997).

Por se tratar de um sistema industrializado, os painéis não permitem improvisos durante a obra, sendo que os mesmos devem ser montados após a elaboração de todos os projetos, tanto arquitetônico quanto os complementares. As instalações hidráulicas, elétricas entre outras instalações devem ser previstas, proporcionando uma prévia abertura de passagens tanto nos painéis quanto nos montantes, além de prever reforços para a fixação de estantes, tanques, bancadas, etc, de acordo com projeto. Neste sistema, os painéis de gesso acartonado são colocados após a instalação dos dutos de energia, telefonia, água e esgoto. Estes dutos são instalados onde foram projetados e compatibilizados entre si, proporcionando testes de instalação que identificarão possíveis reparos após a instalação dos painéis, permitindo acabamento posterior (von KRUGER et al., 2000).

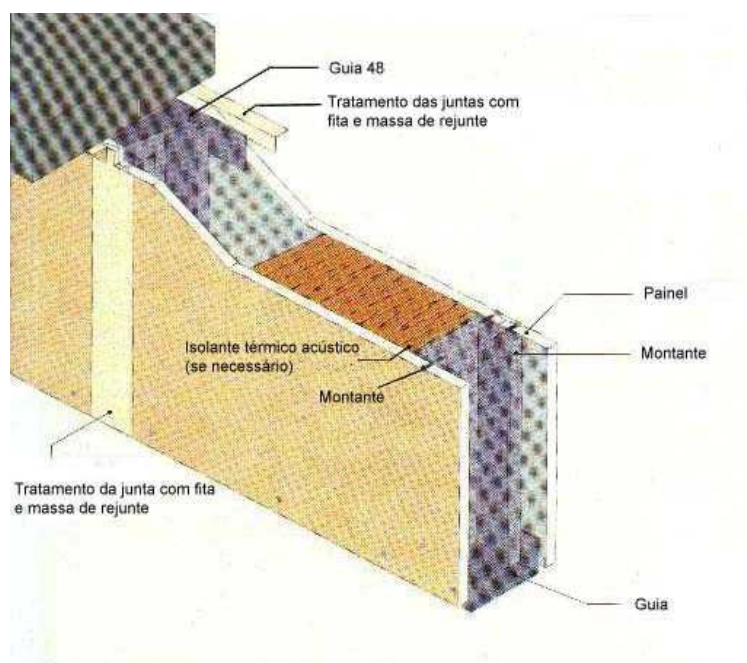


Figura 1 – Exemplo do sistema completo para divisória interna. FONTE – LAFARGE, 1999.

## 2.2 Painel em Placas Cimentíceas

As placas cimentíceas são compostas por uma mistura de cimento, fibras de celulose sem amianto e quartzo. Essas placas são usadas tanto para vedações externas como internas e acabamentos como pintura ou revestimentos podem ser aplicados diretamente sobre as placas. As dimensões desses painéis são geralmente de 1,20 x 2,40 m e suas espessuras variam entre 6, 8, 10 e 15 mm. O sistema de fixação desse tipo de painel, assim como sua sistemática de montagem, é bastante semelhante ao das placas de gesso acartonado.

O sistema de montagem destes painéis é semelhante ao dos painéis de gesso, ou seja, é constituído por uma placa de espessura de 12,5 mm, camada de ar, que serve para isolamento termo-acústico, com a espessura de aproximadamente 40 mm e outra placa (Figura 2). Este sistema de construção é a seco e promove uma redução significativa do peso sobre a estrutura (von KRUGER et al., 2000).

### 2.3 Painel Pré-moldado de Concreto

Os painéis pré-moldados de concreto são compostos basicamente de concreto armado, não possuindo limites dimensionais, o que possibilita variedades plásticas bastante significativas, ficando condicionados apenas à disposição e características de fôrma (metálica ou de madeira). Estes painéis podem ser previamente revestidos com cerâmica, pastilhas, texturas pigmentadas, ou mesmo terem a pré-fixação de esquadrias. A instalação dos painéis na fachada depende de içamento, tais como guias ou guindastes. A fixação dos mesmos à estrutura é executada através de parafusamento, utilizando elementos de fixação (“*inserts*”) dos painéis à estrutura (KISS, 1999).



Figura 2 – Sistema de placas cimentícias. FONTE - KNAUF, 1999

Esses painéis podem ser divididos em três tipos básicos: painéis cortina, painéis de fechamento e painéis portantes. Os dois primeiros diferem entre si apenas pelo fato da estrutura da edificação ficar aparente em relação aos painéis de fechamento. Já o terceiro tipo refere-se a painéis auto-portantes, não havendo necessidade de estrutura auxiliar. Além dessas variações pode-se separar esses painéis pré-moldados de concreto em dois grandes grupos: os painéis de concreto maciço e o painéis de concreto com alma em poliestireno (von KRUGER et al., 2000). Os painéis de concreto maciço são painéis constituídos inteiramente por concreto e uma armação metálica interna, de acordo com as dimensões e uso determinados em projeto. Os painéis de concreto com alma em poliestireno são constituídos por uma camada intermediária de poliestireno, que varia de espessura conforme projeto, e duas camadas de concreto, ligadas ao recheio de poliestireno por armadura metálica definida em projeto (Figura 3).



Figura 3 – Painel pré-moldado de concreto com alma em poliestireno. FONTE – SALES et al., 2001.

## 2.4 Painel de Concreto Celular Autoclavado

Os painéis de concreto celular autoclavado são constituídos por um concreto leve obtido através de um processo industrial, constituído de materiais calcários (cimento, cal ou ambos) e materiais ricos em sílica, granulados finamente. Esta mistura é expandida através da utilização de produtos formadores de gases, água e aditivos, se for o caso, sendo submetidos à pressão e temperatura através de vapor saturado. O concreto celular autoclavado contém células fechadas, aeradas uniformemente. Esses painéis seguem modulação básica de 40 x 300 x 10 cm e apresentam espessura variando entre 10, 12,5 e 15 cm. Sua fixação à estrutura é feita através de conectores, cantoneiras ou chapas dobradas de acordo com projeto de detalhamento (Figura 4). Esses painéis servem, mais comumente, como fechamento vertical, podendo ser para paredes internas e/ou externas, entretanto podem ser utilizados como painéis de piso também (von KRUGER et al., 2000).



Figura 4 - Painel de concreto celular autoclavado e o detalhe de fixação dos mesmos.  
FONTE – SALES et al., 2001.

## 2.5 Painel de Poliestireno Expandido – EPS

Os painéis EPS consistem de uma alma composta de placa ondulada de poliestireno expandido com espessura que varia, dependendo da técnica utilizada, de 55 mm a 100 mm, entre duas malhas de tela de aço soldadas, revestidas com argamassa projetada. Este tipo de painel permite que o conjunto parede/laje trabalhe como um todo, formando uma estrutura monolítica auto-portante (MAMMINI, 1998). As dimensões desses painéis são de 1125 mm ou 1200 mm de largura, conforme fabricante, e comprimento variável, normalmente igual ao pé direito ou à distância entre vigas. Por se tratar de um sistema monolítico, não há necessidade de juntas de dilatação, sendo que as juntas entre os painéis e a estrutura metálica são feitas utilizando-se ferro-cabelo soldado à estrutura (Figura 5), e caso a estrutura não seja aparente, coloca-se uma tela de recobrimento e procede-se à projeção da argamassa (von KRUGER et al., 2000).



Figura 5 – Painel de poliestireno expandido. FONTE – von KRUGER et al., 2000

### 3. METODOLOGIA ADOTADA

A avaliação do desempenho térmico dos elementos de fechamento, de uma edificação, deve considerar a resposta global da edificação, em relação as interações térmicas entre o ambiente natural externo e o ambiente interno construído, e não somente o comportamento térmico de cada elemento de fechamento isoladamente. Todas as trocas térmicas que ocorrem nos ambientes, tais como os ganhos e perdas de energia, em regime dinâmico, sejam através dos elementos de fechamento da edificação ou sejam através da ventilação natural, são processos importantes no estudo da resposta térmica da edificação e por conseguinte de seus elementos de fechamento. Além desses mecanismos de troca térmica que ocorrem nos ambientes, o tipo de ocupação da edificação também interfere na sua resposta térmica, pois irá fornecer as possíveis fontes internas de calor existentes.

Para a análise do desempenho térmico dos elementos de fechamento equaciona-se o equilíbrio entre as perdas e ganhos de energia que ocorrem simultaneamente e que variam significativamente ao longo de um dia, através do ambiente construído.

As análises realizadas tiveram como base a determinação da resposta térmica de uma edificação considerando-se as condições dinâmicas de exposição ao clima, feita por meio do programa computacional ESP-r (CLARKE, 1993). Considera-se a edificação sem condicionamento térmico artificial e calcula-se os valores horários da temperatura do ar interior.

### 4. RESULTADOS

Para a avaliação do desempenho térmico dos diferentes painéis de fechamento pré-fabricados e também da alvenaria convencional foram determinadas as temperaturas internas de uma edificação utilizando o programa computacional ESP-r (CLARKE, 1993) que realiza simulações detalhadas do comportamento térmico do ambiente. Considera-se uma edificação residencial ventilada naturalmente, com perfil de ocupação também definido.

As simulações foram realizadas para um dia típico de verão, nas condições climáticas da cidade de Belo Horizonte e considerando frequência de ocorrência de 10%, com temperaturas de bulbo seco máxima e mínima, respectivamente, de 32,0 °C e 21,7 °C e insolação diária total de 4640 Wh/m<sup>2</sup>.

Foram consideradas 3 (três) configurações de sistemas de fechamento interno utilizando painéis em poliestireno expandido, em gesso acartonado e também a alvenaria de tijolo cerâmico, variando-se o fechamento externo. Nas figuras 7, 8 e 9 são apresentadas as temperaturas internas para um mesmo ambiente, considerando-se as três configurações de fechamentos interno e diferentes fechamentos externos. O fechamento externo em alvenaria é feito considerando-se uma parede com espessura de 25 cm constituída por três camadas: uma camada de 2,5 cm de reboco mais uma camada de 20 cm de tijolo e outra camada de 2,5 cm de reboco. E para fechamento interno, a parede de alvenaria considerada é de 15 cm de espessura, sendo 2,5 cm de reboco, 10 cm de tijolo e mais 2,5 cm de reboco. O fechamento externo e/ou interno com os painéis industrializados é feito considerando-se uma parede com 10 cm de espessura.

Verifica-se da análise dos resultados apresentados nas Figuras 7 a 9 que, do ponto de vista térmico, o uso da alvenaria comum, como sistema de fechamento externo, demonstra ser ainda a melhor solução quando comparada com os demais sistemas de fechamento apresentados. Independentemente do sistema de fechamento interno utilizado com a alvenaria, como fechamento externo, tem-se as temperaturas internas máximas, menores durante o período diurno e as maiores durante o período noturno. Isto ocorre devido ao efeito mais isolante da alvenaria que durante o dia é benéfico, mas durante o período noturno dificulta as trocas de calor no sentido inverso, do interior para o exterior (efeito da massa térmica).

Do ponto de vista construtivo, nas edificações em estrutura metálica, o uso de fechamentos convencionais em alvenaria, é, no entanto, problemático pois esses são sistemas que possuem tempos de execução não condizentes e interfaces construtivas nem sempre bem resolvidas. Para resolver o problema de tempo de execução e desperdício no canteiro de obras, vantagens latentes na construção

industrializada, o uso de painéis de fechamento industrializados é cada vez maior nos canteiros de obra.

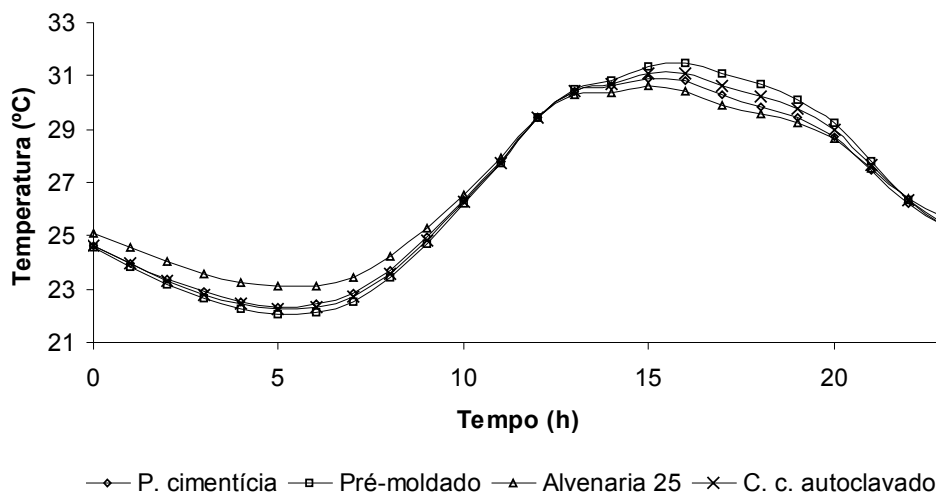


Figura 7. Temperatura interna do ambiente com fechamento interno em painel EPS.

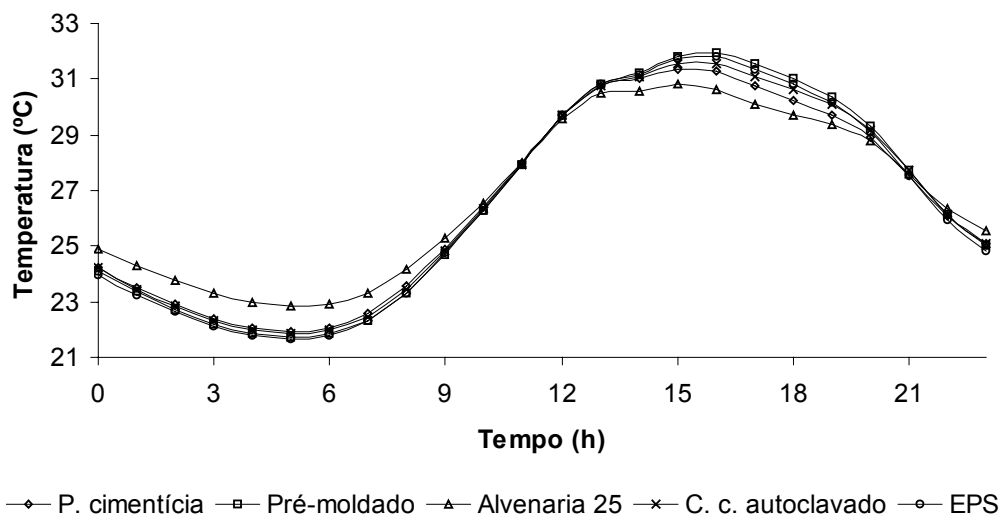


Figura 8. Temperatura interna do ambiente com fechamento interno em painel em gesso acartonado.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Comparando somente os sistemas de fechamentos industrializados observa-se que, para qualquer configuração de fechamento adotada, o painel em placa cimentícia apresenta uma melhor eficiência. Entretanto, a diferença das temperaturas internas máximas e mínimas obtidas, para as várias configurações, é pequena ficando em torno de 3 °C. Da mesma forma, uma comparação entre as temperaturas nas superfícies internas das paredes, considerando a configuração de fechamento mostrada na Figura 9, apresenta as temperaturas mais baixas com o fechamento externo em alvenaria e em placa cimentícia. Neste caso também resulta uma diferença máxima de 3 °C entre a temperatura superficial máxima e mínima, considerando o fechamento externo com maior e menor eficiência térmica.

Dessa forma, a escolha do sistema de fechamento deve contemplar além de seu desempenho térmico, outros aspectos tais como peso, preço, estética e tamanho da edificação (SOUZA et al., 2001). Por exemplo, o uso de painéis pré-moldado de concreto só é viabilizado em obras de grande porte ou que necessitem de equipamentos de içamento. Seu peso elevado limita sua montagem em obras onde o uso de guias e guindastes seja necessário.

Um outro ponto importante a ser considerado é o procedimento de montagem e/ou construção dos painéis. Sob o ponto de vista da cultura construtiva nacional, em que a técnica de moldagem “in loco” e do uso da alvenaria é bastante difundida, o painel EPS é o que melhor se adequa sob este aspecto.

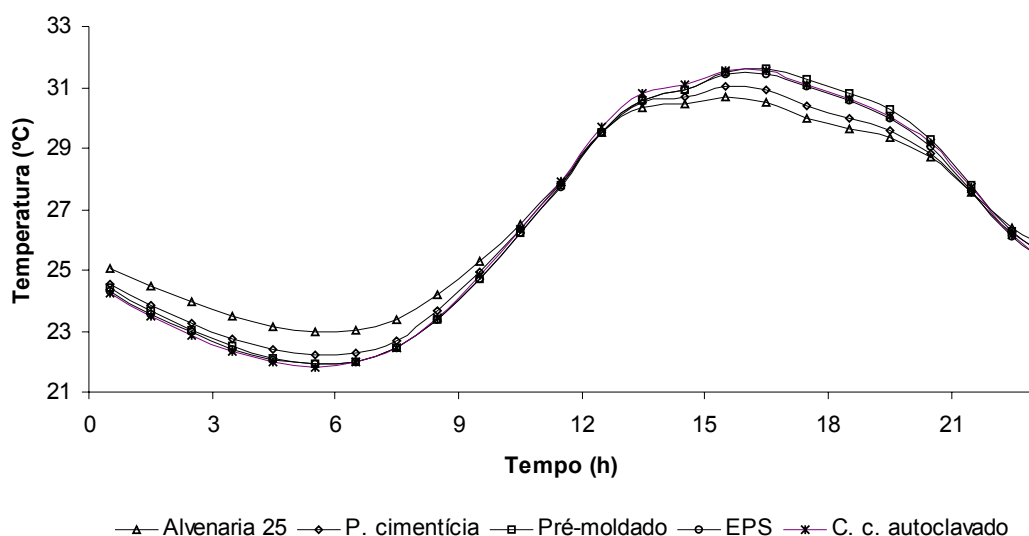


Figura 9. Temperatura interna do ambiente com fechamento interno em alvenaria convencional.

Devido a sua alta capacidade de resistência ao fogo, os painéis de concreto celular autoclavado são os mais indicados para ambientes que exigem segurança em caso de incêndio, tais como escadas de edifícios de andares múltiplos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CLARKE, J. et al. (1993) *ESP-r a program for building energy simulation, version 9 series, ESRU Manual U93/1*, Glasgow, Scotland, 110 p.

KISS, P. (1999) Muito Barulho por Tudo. *Techné*, n. 43, p.30-33, nov/dez. 1999.

KNAUF (1999). Sistema de Chapas Cimentícias, Queimados (*Catálogo de Produtos*).

LAFARGE. (1999) *Catálogo de produtos*. s.n., 1999.

MAMMINI, O. O processo Monolite de construção com painéis de EPS. *Techné*, n. 37, p.53-55, nov/dez. 1998.

MITIDIERI FILHO, C.V. Paredes em chapas de gesso acartonado. *Techné*, n.30, p.65-70, set/out. 1997.

SALES, Urânia Costa; SOUZA, Henor Artur de; NEVES, Francisco de Assis das. (2001) Avaliação Qualitativa da Eficiência Acústica de Painéis de Vedação Pré-fabricados. In: IV SEMINÁRIO INTERNAICONAL - O USO DE ESTRUTURAS METÁLICAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL E I CONGRESSO INTERNACIONAL DA CONSTRUÇÃO METÁLICA, São Paulo. *Anais eletrônicos*. SME-I CICOM.

SOUZA, Henor Artur de; FREITAS, Arlene Maria Sarmanho; von KRUGER, Paulo Gustavo. Desempenho de Painéis de Vedação. *Téchne*, São Paulo, v. nov, n. 56, p. 78-81, 2001.

Von KRUGER, Paulo Gustavo; SOUZA, Henor Artur de; FREITAS, Arlene Maria Sarmanho. (2000) Avaliação comparativa de desempenho global de painéis de vedação para edificações em estruturas metálicas. In: 3RD INTERNATIONAL SEMINAR - THE USE OF STEEL STRUCTURES IN CIVIL CONSTRUCTION, Belo Horizonte. *Anais eletrônicos*. SME-CICOM.