



XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE PAINÉIS DE CONCRETO MOLDADOS *IN LOCO*

Tatiane P. de Almeida (1); Marcos Silvosos (2); Alice Brasileiro (3)

(1) Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura (PROARQ/UFRJ),
tatianepilar.arq@gmail.com

(2) D.Sc., Professor do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura (PROARQ/UFRJ), silvosos@fau.ufrj.br

(3) D.Sc., Professora do Departamento de Tecnologia da Construção (FAU/UFRJ), alicebrasileiro@ufrj.br
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Pedro Calmon, 550 – sala 433 – Ilha do Fundão, Cidade
Universitária – Rio de Janeiro, Brasil

RESUMO

No Rio de Janeiro, aproximadamente 80% das edificações multifamiliares do Programa “Minha Casa, Minha Vida” (PMCMV) são compostas por paredes maciças de concreto moldadas *in loco*, sendo este sistema construtivo inadequado ao clima do Rio de Janeiro, mostrando-se então necessária a investigação de propostas visando a melhoria do desempenho térmico desse sistema. Têm-se como objetivo avaliar experimentalmente os comportamentos térmicos de painéis de concreto moldados *in loco*, realizando a comparação de resultados entre um “painel controle” (apenas com concreto) e de uma diferente solução construtiva para esse sistema, a qual buscou a melhoria de desempenho térmico empregando uma camada de EPS. Para isso, foram realizados ensaios visando a determinação do fluxo térmico nos painéis, os quais foram submetidos à ação do calor por meio de um painel radiante com temperatura controlada, estando contidos em uma câmara térmica dividida em dois ambientes, simulando a temperatura exterior e interior. Utilizaram-se sensores de temperatura para as faces internas e externas dos painéis e para o ar ambiente. O programa experimental consistiu na realização de ensaios em um painel de concreto com 10 cm de espessura e um painel sanduíche de concreto e poliestireno expandido (EPS), com 12 cm de espessura no total, ambos sem qualquer tipo de pintura ou revestimento. Verificou-se que a utilização do EPS gerou benefícios significativos para o desempenho térmico do painel de concreto analisado, apresentando, portanto, potencial de utilização.

Palavras-chave: painéis de concreto, comportamento térmico, câmara térmica.

ABSTRACT

In Rio de Janeiro, approximately 80% of the multi-family buildings of the “Minha Casa, Minha Vida” Program (MCMVP) are composed of solid concrete walls molded *in loco*, being this constructive system unsuitable for the climate of Rio de Janeiro, therefore the investigation of proposals aimed at improving the thermal performance of this system are necessary. The objective of this article is to experimentally evaluate the thermal behavior of molded concrete panels *in loco*, by comparing results between a “control panel” (only with concrete) and a different constructive solution for this system, which sought to improve thermal performance using an EPS layer. For this, tests were carried out to determine the thermal flux in the panels, which were submitted to the action of the heat through a radiant panel with controlled temperature, being contained in a thermal chamber divided in two environments, simulating the exterior and interior temperature. Temperature sensors were used for the internal and external faces of the panels and for the ambient air. The experimental program consisted of tests on a concrete panel with thickness of 10 cm and a sandwich panel made of concrete and expanded polystyrene (EPS), with total thickness of 12 cm, both without any type of paint or coating. It was verified that the use of the EPS generated significant benefits for the thermal performance of the analyzed concrete panel, thus presenting potential of use.

Keywords: concrete panels, thermal behavior, thermal chamber.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Vasquez (2017), a principal tipologia habitacional empregada pelo Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) na Região Metropolitana do Rio de Janeiro são as edificações de apartamentos multifamiliares, implantados em blocos de 3 até 5 pavimentos, correspondendo a mais de 80% da produção total. Em sua pesquisa, informa ainda que tais edificações apresentam majoritariamente quatro sistemas construtivos, sendo as paredes maciças de concreto moldadas *in loco* o predominante (com uma incidência de aproximadamente 80%), seguida respectivamente pela alvenaria estrutural com blocos cerâmicos, alvenaria estrutural com blocos de concreto e alvenaria de vedação com tijolos cerâmicos. Ressalta ainda que edificações construídas em alvenaria estrutural com blocos cerâmicos eram predominantes no início do programa, perdendo a posição a partir de 2012 para as paredes de concreto moldadas *in loco*, logo após a publicação da norma de paredes de concreto em maio de 2012, a NBR 16055 (ANBT, 2012).

A NBR 16055 (ABNT, 2012) normatiza o dimensionamento e a execução do sistema de paredes de concreto moldadas *in loco*, o qual possui função estrutural e de vedação. Esse sistema faz uso de um jogo de fôrmas removíveis (podem ser de madeira, plásticas ou metálicas, sendo as metálicas as mais utilizadas), tela de aço e concreto para a constituição das paredes, sendo um sistema indicado para construção em grande escala, pois as fôrmas apresentam um custo elevado, embora possam ser reutilizadas (CORSINI, 2011). O sistema de paredes de concreto permite a construção de muitas unidades em um espaço reduzido de tempo, proporcionando uma otimização do processo de construção e diminuição do desperdício; entretanto, o custo elevado para aquisição das fôrmas acaba por impedir a utilização do método construtivo em empreendimentos de médio e pequeno porte; além disso, a inflexibilidade do sistema faz com que os usuários não possam realizar modificações na construção (VASQUEZ, 2017).

Adicionalmente, pesquisas apontam que o sistema construtivo em paredes de concreto mostra-se termicamente inadequado para todas as zonas bioclimáticas do país (MORENO, 2013) quando avaliados por procedimentos como os descritos na NBR 15575 (ABNT, 2013). Por meio de simulações computacionais realizadas pelos presentes autores em pesquisas anteriores (ALMEIDA; SILVOSO; BRASILEIRO, 2018), foi observado que o sistema de parede de concreto mostrou-se com o pior desempenho termo-energético em comparação aos demais utilizados pelo PMCMV, sendo ainda inadequado ao clima do Rio de Janeiro, de modo que foram realizadas simulações variando a composição material de paredes de concreto utilizando isolamento térmico, mostrando-se vantajoso o emprego do EPS (poliestireno expandido).

Algumas pesquisas - como Gomes (2015), Passos, Carasek e Amaral (2016), Souza (2017) e Cintra (2017) - apresentam diferentes procedimentos experimentais que permitem avaliar o comportamento térmico de componentes construtivos de vedação, tais quais as paredes de concreto. Esses trabalhos serviram de base para o desenvolvimento do método de avaliação empregado no presente artigo, apresentado posteriormente.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar experimentalmente os comportamentos térmicos de painéis de concreto moldados *in loco*, realizando a comparação de resultados entre um “painel controle” (apenas com concreto) e de uma diferente solução construtiva para esse sistema, a qual buscou a melhoria de desempenho térmico empregando uma camada de EPS.

3. MÉTODO

Foram realizados ensaios para a estimar experimentalmente o fluxo térmico em paredes de concreto, visando também verificar a construtibilidade da variação proposta para as paredes de concreto que se mostrou mais significativa durante as simulações computacionais realizadas anteriormente na pesquisa. Cabe mencionar que a metodologia empregada poderá auxiliar na verificação prévia dos valores de transmitância térmica dos painéis de concreto com EPS, de modo a atender os limites estabelecidos na NBR 15575 (ABNT, 2013), parte 4, item 11.2.1.

O programa experimental consistiu na realização de ensaios em uma câmara térmica para um painel de concreto com 10 cm de espessura (P10) e um painel sanduíche de concreto e EPS, com 12 cm de espessura total (P12), ambos sem qualquer tipo de pintura ou revestimento. Os ensaios de fluxo térmico foram realizados, portanto, em duas etapas: ensaios para o painel de concreto de 10 cm em seu estado natural; e ensaios para o painel sanduíche de concreto e EPS também em seu estado natural.

3.1. Descrição da Câmara Térmica

Os ensaios previstos foram realizados em uma câmara térmica projetada e construída ao longo do desenvolvimento da presente pesquisa, estando localizada no Laboratório de Ensino de Materiais de

Construção e Estudo dos Solos da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro (LEMC/FAU/UFRJ), o projeto da mesma teve como referência Souza (2017). A câmara é composta por placas de compensado naval de 2cm de espessura e isolada com placas de poliestireno expandido (EPS) de alta densidade (densidade aparente nominal de 18 kg/m³; densidade aparente mínima 16 kg/m³) com 10cm de espessura, apresentando dimensões totais de 1,42x1,04x0,90m.

A câmara é dividida em três partes (Figura 1): o carrinho para suporte dos painéis, a câmara em si e o módulo de aquecimento. O módulo é acoplado à face frontal da câmara, ao passo que o carrinho suporte com o painel a ser analisado é inserido internamente funcionando como uma divisória, a qual separa a mesma em dois ambientes distintos que representariam o meio interno e externo de uma edificação (Figura 2). No compartimento referente ao meio externo à edificação é onde está localizado o módulo de aquecimento.

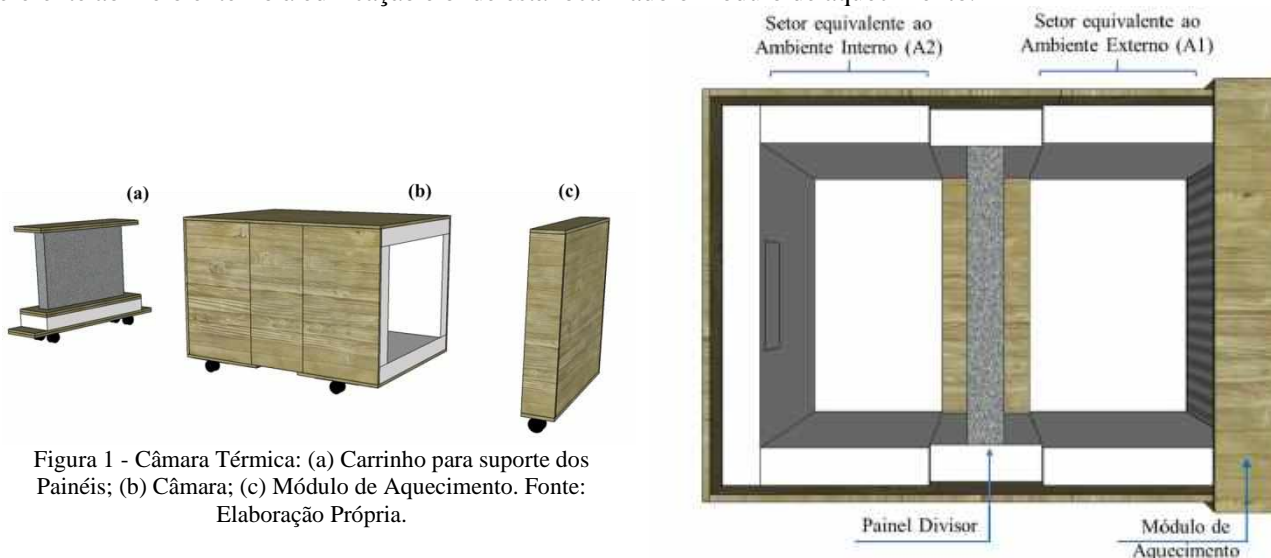


Figura 1 - Câmara Térmica: (a) Carrinho para suporte dos Painéis; (b) Câmara; (c) Módulo de Aquecimento. Fonte: Elaboração Própria.

Figura 2 - Setores da Câmara Térmica, Módulo de Aquecimento e Painel Divisor. Fonte: Elaboração Própria.

3.2. Sistema de Aquisição de Dados

O sistema de aquisição fez uso de 4 (quatro) equipamentos: Lynx, datalogger, câmera termográfica e termômetro infravermelho de superfície (Figura 3). A Lynx foi utilizada associada a sensores de temperatura do tipo PT 100, os quais foram os responsáveis pela medição da temperatura de superfície das faces dos painéis, temperatura do ar dos setores da câmara e temperatura do ar do ambiente externo, conforme será explicado na descrição dos ensaios. O datalogger foi utilizado com termopares do Tipo K, sendo empregado na calibração dos sensores da Lynx. Tanto a câmera termográfica quanto o termômetro infravermelho de superfície foram utilizados para a medição de temperatura da face do painel voltada para o setor equivalente ao ambiente interno da câmara.

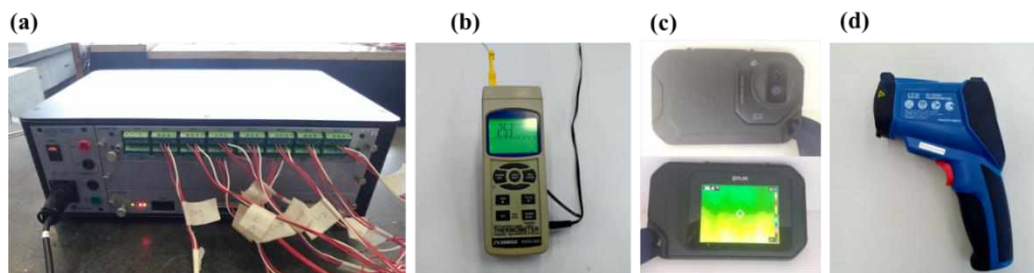


Figura 3 - (a) Lynx; (b) Datalogger; (c) Câmera Termográfica, (d) Termômetro Infravermelho de Superfície. Fonte: Elaboração Própria.

A Lynx constitui o principal equipamento do sistema de aquisição de dados, foram utilizados 12 (doze) dos seus 16 (dezesesseis) canais, todos calibrados para a utilização de sensores de temperatura do tipo PT 100. Foi realizada calibração por temperatura para a utilização de tais sensores conforme indicação do fabricante (Lynx), o procedimento consistia em associar valores de voltagem, originalmente obtidos pela Lynx, a valores de temperatura; para isso, os sensores do tipo PT 100 foram introduzidos em água a diferentes temperaturas junto à termopares do Tipo K ligados a um datalogger com calibração de fábrica. Foram então obtidos quatro valores de temperatura para cada sensor, de modo que software do equipamento, AqDados 7.02, cria automaticamente uma curva de temperatura referente ao sensor calibrado.

3.3. Desenvolvimento dos Painéis de Concreto

Para a realização dos ensaios experimentais foi necessário a preparação de um trecho de parede acabada de acordo com os detalhes construtivos do emprego do sistema construtivo em obra. Construíram-se então dois painéis de 0,80 x 0,60 m, sendo um deles composto unicamente por concreto e o outro por concreto e uma placa de EPS (painel sanduíche). As propriedades dos materiais utilizados para a confecção do concreto empregado na moldagem dos painéis realizada para esta pesquisa foram obtidas em ensaios de caracterização prévios, realizados em pesquisas desenvolvidas no LEMC (FAU/UFRJ), descritos em Paiva *et al.* (2018) e Velasco, Reis e Silvos (2018). Utilizando o método teórico-experimental da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) foi dosado um concreto visando obter $f_{ck,28} = 25$ MPa (CEF, 2017), adotando-se então um traço de 1:2,03:2,25:0,59 (cimento CP V-ARI, areia, brita e água), com consumo de 390 kg cimento para produção de 1 m³ de concreto. O aditivo superplastificante foi dosado em uma proporção de 0,05% do teor de sólidos com relação ao consumo de cimento. É preciso também destacar que as DATec (Diretrizes para Avaliação Técnica) do SiNAT (Sistema Nacional de Avaliações Técnicas) relacionados à construção de paredes de concreto moldadas *in loco* encontravam-se vencidos no período em que a pesquisa foi efetuada, apenas diretrizes para a avaliação de paredes em concreto leve ou reforçado com fibra de vidro puderam ser obtidas, sendo informado em tais documentos que paredes estruturais de concreto armado e armadura de aço devem atender à NBR 16055 (ABNT, 2012), conforme foi realizado nos ensaios apresentados no presente artigo (SINAT, 2017).

Foram moldados dois painéis de concreto; o primeiro (P10) apresenta dimensão de 0,80 x 0,60 x 0,10 m, sendo composto unicamente por concreto; já o segundo painel (P12) apresenta 0,80 x 0,60 x 0,12 m, possuindo internamente uma placa de EPS de 0,70 x 0,50 x 0,04 m de alta densidade (densidade aparente nominal de 32,5 kg/m³; densidade aparente mínima 30 kg/m³). Para cada painel foi estipulado 50L de concreto para a moldagem, tal valor é proveniente do volume das fôrmas - 48L para P10 e 57,6L para P12 - ressaltando que, no caso de P12, a placa de EPS ocupa em torno de 14L, sendo necessário então apenas 43,6L de concreto. Além disso, estipulou-se em média 20L de concreto para a confecção de corpos de prova para cada um dos painéis, resultando em 40L no total. Considerando então a concretagem de ambos os painéis, a quantidade total de concreto produzida foi de 140L.

Preparou-se também a armadura para ambos os painéis, o cálculo referente à armadura mínima foi baseado na NBR 16055 (ABNT, 2012), norma referente aos requisitos e procedimentos relativos às paredes de concreto moldadas *in loco*. No caso de P12, em função da placa de EPS localizada no centro da parede, é necessária a utilização de uma armadura dupla; por motivos metodológicos relativos à comparação de resultados entre as paredes analisadas, optou-se por também utilizar em P10 uma armadura dupla. Para a verificação do comportamento do concreto em estado fresco, foram realizados ensaios de abatimento de tronco de cone de acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998) para cada um dos concretos produzidos: para P10 o valor obtido foi de 18,50 cm; já para P12 foi de 20,00 cm. Ressalta-se que, de acordo com o memorial descritivo fornecido pela Caixa Econômica Federal (CEF) para edificações multifamiliares do PMCMV, o concreto utilizado na construção de paredes moldadas *in loco* deve ter *slump* de 18cm ± 1cm.

Foram moldados 11 (onze) corpos de prova para P10 e 11 (onze) para P12, os quais, após desforma, foram levados para cura em uma câmara úmida. Tais corpos de prova foram utilizados nos ensaios de resistência à compressão e de determinação de massa específica. Para a presente pesquisa, tais ensaios foram utilizados para verificar que o concreto produzido era apropriado para a utilização na construção de paredes de concreto moldadas *in loco* e atestar que os concretos produzidos para os dois painéis, oriundos de diferentes betonadas, apresentavam as mesmas características.

Durante a concretagem de P12 foi observada dificuldade em manter a placa de isopor no lugar, pois a mesma apresenta tendência a flutuar em função da diferença de massa específica entre esse material e o concreto. A desforma dos painéis de concreto ocorreu 24 horas após a moldagem, com os painéis já sobre os carrinhos, para que fossem levados à sala de ensaio na câmara térmica. Depois de retiradas as fôrmas, o concreto foi mantido em cura através da utilização de cobertores úmidos por 7 dias, sendo levados para o ensaio na câmara térmica após 28 dias de idade (Figura 4).



Figura 4 - Painéis levados para ensaio: (a) Painel sendo inserido na Câmara; (b) Painel funcionando como divisória na câmara; (c) P10 e P12. Fonte: Elaboração Própria.

3.4. Descrição do Método de Ensaio para a determinação do Fluxo Térmico

O método empregado nos ensaios experimentais utilizou como referência as pesquisas de Souza (2017), Cintra (2017) e Gomes (2015), além de ter base no método da “Caixa Quente Protegida” (FARHAT, 1988). Para a realização dos ensaios, primeiramente foi decidida a faixa de temperatura na qual o mesmo deveria ser mantido. Foram utilizadas inicialmente 12 (doze) lâmpadas de 100W cada, as quais encontravam-se separadas em 4 (quatro) diferentes circuitos controlados por *dimmers*. Entretanto, observou-se que as temperaturas não se mostravam adequadas ao ensaio proposto, chegando à faixa de 70°C em menos de 10 minutos. Dessa forma, os ensaios foram realizados utilizando-se apenas os dois circuitos centrais com os *dimmers* em um mesmo ponto (referente à utilização da potência máxima das lâmpadas), estando os dois *dimmers* dos circuitos das pontas desligados, sendo, portanto, utilizadas apenas 2 (duas) lâmpadas de 70W de potência cada. Com isso, a temperatura máxima no interior da câmara chegou a aproximadamente 50°C após doze horas acesas.

Todos os ensaios tiveram início às 7 (horas) e 50 (cinquenta) minutos da manhã, com duração de 24 (vinte e quatro) horas e 10 minutos, sendo finalizado às 8 horas da manhã do dia seguinte, apresentando frequência de medição de 1 Hz (uma medição por segundo). Nos primeiros 10 (dez) minutos de ensaio, já com a aferição sendo realizada, a câmara foi mantida fechada e com o módulo de aquecimento desligado, objetivando registrar a câmara em um equilíbrio inicial de temperatura. Passados os primeiros 10 minutos, o módulo de aquecimento foi ligado, de modo que as duas lâmpadas foram mantidas acesas por 12 (doze) horas em potência máxima (70W), sendo então desligadas após tal período, às 20 horas da noite. O ensaio continuou então por mais 12 (doze) horas, registrando o período de resfriamento dos ambientes. Todos os ensaios foram realizados com o ar condicionado ligado, mesmo no período de resfriamento da câmara, objetivando manter a temperatura do ambiente externo à câmara similar entre ensaios e constante, sem grandes oscilações em função da temperatura diária.

Durante os ensaios foram ainda realizadas aferições com um termômetro de superfície e com uma câmera termográfica, fazendo uso de uma janela lateral presente na câmara. Tanto as fotos quanto as medições com o termômetro foram realizadas na área central das paredes, sendo então as análises comparativas realizadas a partir da temperatura do sensor localizado no centro de cada painel.

Como descrito anteriormente, os painéis foram inseridos no interior da câmara térmica, a qual é então dividida em dois diferentes setores, setor equivalente ao ambiente externo (A1) e setor equivalente ao ambiente interno (A2), estando o módulo de aquecimento localizado em A1. Os sensores do tipo PT 100 foram localizados nas superfícies dos painéis, nos ambientes internos à câmara e no ambiente externo, sendo distribuídos 3 (três) sensores em cada face, 1 (um) sensor para a medição da temperatura do ar em A1 e outro em A2, além de mais um sensor localizado no ambiente externo à câmara (Figura 5).

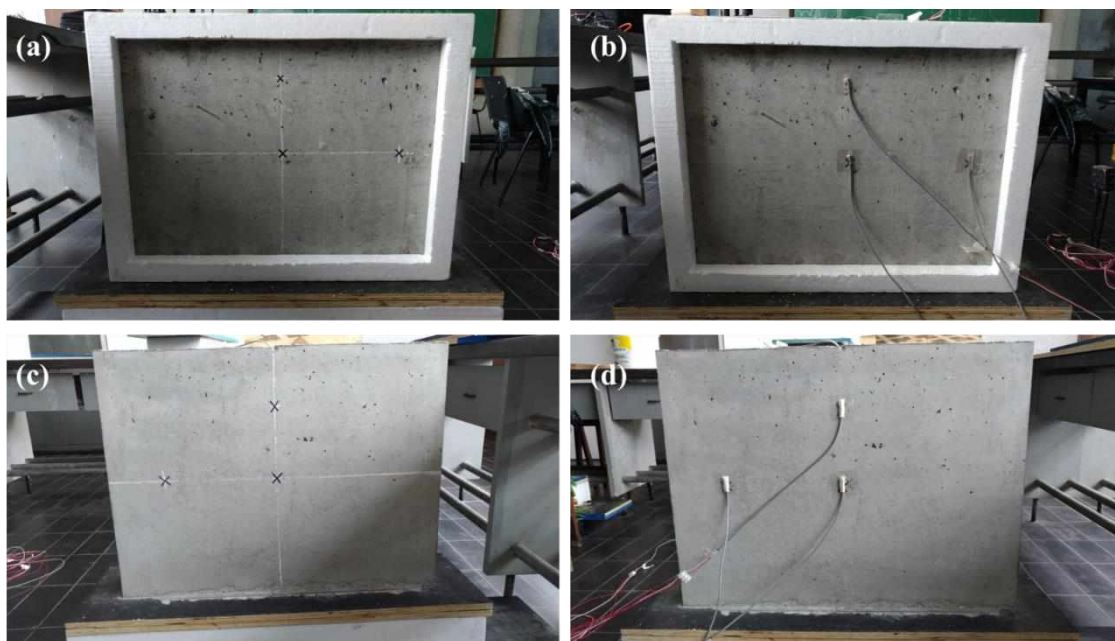


Figura 5 - (a) e (b) Face do painel voltada para o módulo de aquecimento com localização dos sensores; (c) e (d) Face do painel oposta ao módulo de aquecimento com localização dos sensores. Fonte: Elaboração Própria.

Ressalta-se que foi utilizada uma moldura de 5 cm de EPS na face dos painéis voltadas ao módulo de aquecimento, essa decisão é consequência da utilização de uma placa de EPS no interior de P12, a qual foi colocada na região central da parede, ficando a uma distância de 5 cm das margens da parede. Para que nessa

região das margens não houvesse então grande diferença em relação a transferência de calor no restante de P12, optou-se pela utilização de tal moldura, a qual foi também empregada em P10 por motivos metodológicos relativos à comparação dos resultados dos ensaios.

Foram confeccionados gráficos que apresentaram a variação de temperatura de cada sensor ao longo das 24 horas de ensaio, podendo então ser determinado o atraso e o amortecimento térmico para P10 e P12. A partir de tais ensaios, pôde-se verificar o fluxo de calor entre os dois ambientes da câmara. Utilizou-se os resultados dos sensores localizados para a medição da temperatura do ar em A1 e A2 (A1amb, A2amb), da temperatura das faces (A1sup, A1meio, A1lat, A2sup, A2meio, A2lat) e da temperatura do ambiente externo à câmara (AmbExt), como pode ser visto na Figura 6.

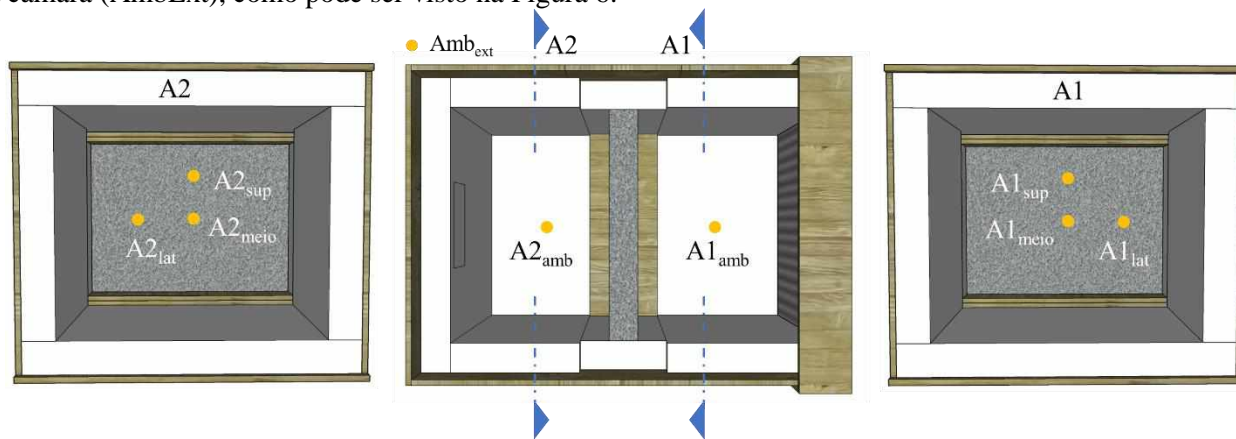


Figura 6 - Localização dos Sensores de Temperatura. Fonte: Elaboração Própria.

4. RESULTADOS

Como apresentado no método, foram produzidos dois diferentes painéis de concreto, P10 e P12, os quais foram levados para ensaio em uma câmara térmica. Na Figura 7 podem ser analisados os resultados para o ensaio de P10. Considerando as medições realizadas pelos sensores utilizados, a temperatura inicial registrada durante o ensaio foi de aproximadamente 23,14°C. Percebe-se que durante as primeiras duas horas, a temperatura em A1amb se eleva rapidamente, já alcançando 45,85°C, ao passo que após esse período, a velocidade de aumento da temperatura se estabiliza, chegando a 53,95°C (máxima obtida) com doze horas de ensaio, momento no qual o módulo de aquecimento é desligado e inicia-se a queda nos valores das temperaturas.

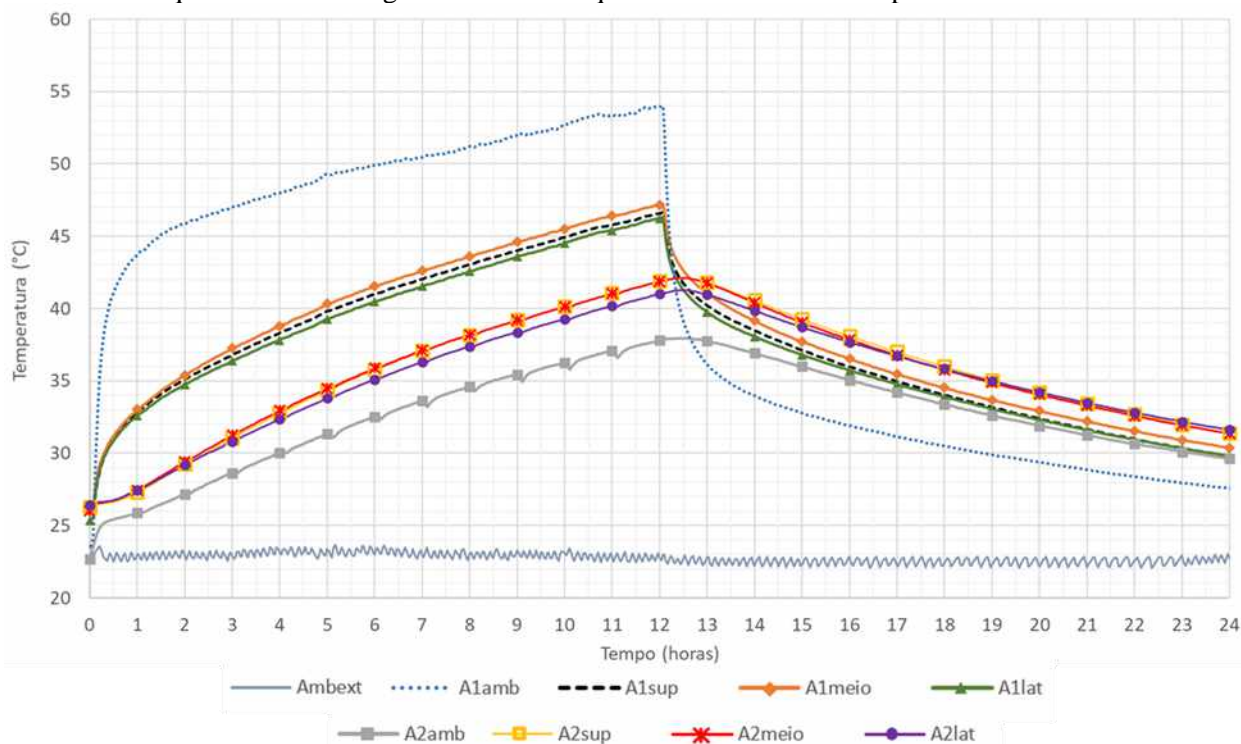


Figura 7 - Temperaturas aferidas durante as 24 horas de ensaio para P10. Fonte: Elaboração Própria.

O aquecimento da face A1 do painel, exposta ao calor diretamente, também possui uma elevação inicial mais rápida de sua temperatura, chegando a uma média de 35°C nas primeiras duas horas de ensaio. Ao final das doze horas de aquecimento, os sensores localizados na face A1 registraram suas temperaturas máximas: 47,10°C (A1_{meio}), 46,76 °C (A1_{sup}), 46,30°C (A1_{lat}). A face A2 é aquecida pelo calor transmitido através da parede por condução, exibindo então maior uniformidade em relação ao aumento da temperatura, a qual apresenta suas máximas com aproximadamente doze horas e meia de ensaio, sendo registrado 42,11°C em A2_{meio}, 42,09°C em A2_{sup} e 41,26°C em A2_{lat}. Com relação a temperatura em A2_{amb}, a máxima é também registrada com doze horas e meia de ensaio, correspondendo a 37,95°C.

Ao final das doze primeiras horas, o módulo de aquecimento é então desligado, nesse momento, observa-se a queda abrupta de temperatura nos quatro sensores localizados em A1, os quais estavam diretamente expostos ao calor emitido pelas lâmpadas do módulo. A temperatura de A1_{amb}, após as vinte e quatro horas de ensaio, chega a 27,60°C. Já a queda de temperatura observada nos sensores do lado A2 apresenta uma diminuição mais lenta, estando a temperatura de A2_{amb} em 29,62°C ao final do ensaio.

Observa-se que, mesmo doze horas após o módulo de aquecimento ser desligado, nenhuma das temperaturas chegou ao mesmo patamar que a temperatura de Amb_{ext}, atestando o isolamento da câmara. Entretanto, pode ser percebido que os valores do lado A1, tanto dos sensores das faces quanto do ar, ficaram inferiores aos seus correspondentes do lado A2. Esse comportamento é consequência da falta de isolamento térmico no módulo de aquecimento (na face onde se localizam as lâmpadas), indicando maior perda de calor do lado A1 para o meio externo, especialmente em A1_{amb}, já que a temperatura da face é influenciada pela capacidade térmica da parede, evitando, portanto, altas quedas de temperatura.

Nas curvas relativas ao ambiente A2 da câmara, especialmente em A2_{amb}, podem ser vistos pontos que apresentam uma ligeira queda na temperatura e voltam a se estabilizar. Tais quedas são consequência da abertura da janela lateral presente na câmara, pela qual foram realizadas aferições com um termômetro infravermelho de superfície e com a câmera termográfica, as quais serão apresentadas posteriormente. Analisando então o gráfico, pode ser verificado que tais aberturas não influenciaram a tendência de elevação da temperatura, a qual se estabilizava novamente logo após a janela ser fechada.

Foi realizado ainda um ensaio para o painel P12, o qual tem seus resultados expressos na Figura 8. O ensaio teve início com a temperatura dos sensores em torno de 22,70°C, apresentando os mesmos procedimentos que o ensaio anterior. Como ocorreu com P10, a temperatura no sensor A1_{amb} de P12 apresenta uma rápida elevação de sua temperatura inicial, chegando a 45°C em duas horas. Ao final das doze horas de ensaio a temperatura em A1_{amb} chegou a 55,60°C; nesse momento, os sensores da face A1 do painel apontam também suas temperaturas máximas, correspondendo a 53,42°C em A1_{meio}, 50,87°C em A1_{sup} e 50,84°C em A1_{lat}.

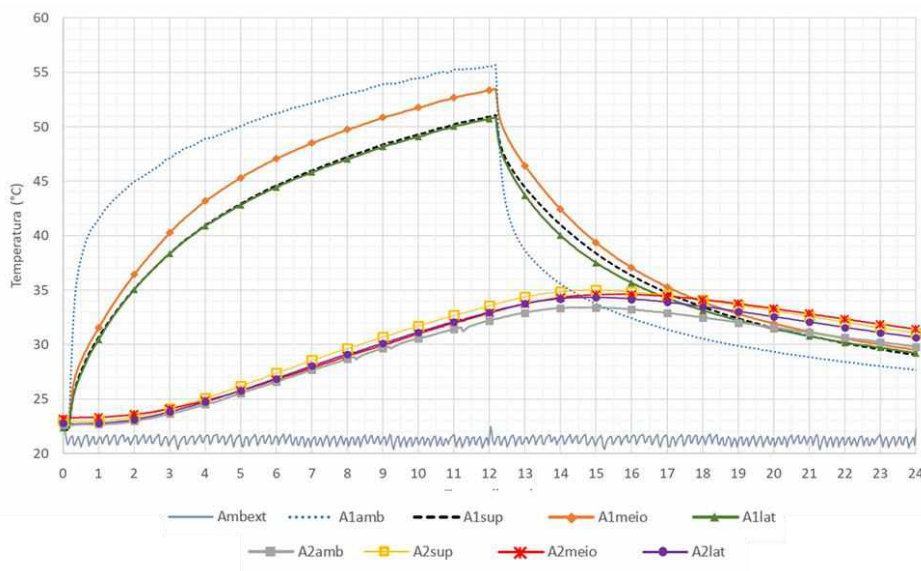


Figura 8 - Temperaturas aferidas durante as 24 horas de ensaio para P12. Fonte: Elaboração Própria.

Já para as temperaturas na face A2 do painel, seus pontos máximos ocorrem com quinze horas de ensaio, chegando a 34,99°C em A2_{sup}, 34,64°C em A2_{meio} e 34,27°C em A2_{lat}. Para A2_{amb} a temperatura máxima registrada é de 33,37°C, também com quinze horas após o início do ensaio. Nota-se então que mesmo após o desligamento do módulo de aquecimento, o lado A2 continua a ser aquecido, isso ocorre em função do atraso térmico da parede. Após os picos de temperatura, dá-se início a fase de resfriamento dos

ambientes, assim como ocorre em P10, os sensores do lado A1 sofrem uma queda brusca de temperatura, ao passo que em A2 o decaimento da temperatura é mais lento. Para P12 também é percebido que nenhum dos sensores chegou a mesma temperatura que Amb_{ext} , além disso, nota-se também que as temperaturas em A1 ficam menores que suas correspondentes em A2 ao final do ensaio. Foram também realizadas medições com o termômetro de superfície e com a câmera termográfica, podendo ser observado na curva de $A2_{amb}$ os momentos de abertura da janela.

Observa-se que a temperatura máxima para $A1_{amb}$ foi superior no ensaio para P12 em comparação com P10 (Figura 9). Especula-se que essa diferença de temperatura entre o ambiente aquecido de cada ensaio deva-se a utilização do EPS em P12. Sendo o EPS um material de elevada resistência térmica, dificultando a passagem de calor no sentido $A1 \rightarrow A2$, esse calor fica então retido no lado A1, levando a maiores temperaturas nesse ambiente. Ressalta-se que esse fenômeno não ocorreria em uma situação real para uma vedação vertical, sendo percebido apenas por A1 ser um compartimento fechado.

Além disso, as temperaturas máximas em $A2_{amb}$ são mais baixas para o ensaio de P12 ($33,37^{\circ}C$) do que no ensaio de P10 ($37,95^{\circ}C$), mesmo com os valores de $A1_{amb}$ sendo maiores em P12. Isso ocorre em função do maior amortecimento térmico oferecido por P12, para o qual a diferença de temperatura entre $A1_{amb}$ e $A2_{amb}$ é de $22,23^{\circ}C$, ao passo que para P10 essa diferença é de $16^{\circ}C$, mostrando que P12 é menos suscetível a grandes variações na temperatura exterior, apresentando ainda maior atraso térmico (3 horas) e, conseqüentemente, maior inércia térmica. Em relação às temperaturas finais dos ensaios, vê-se que há uma convergência de valor, sendo muito próximos os resultados das medições entre os sensores correspondentes em P10 e P12, indicando a similaridade das condições de ensaio.

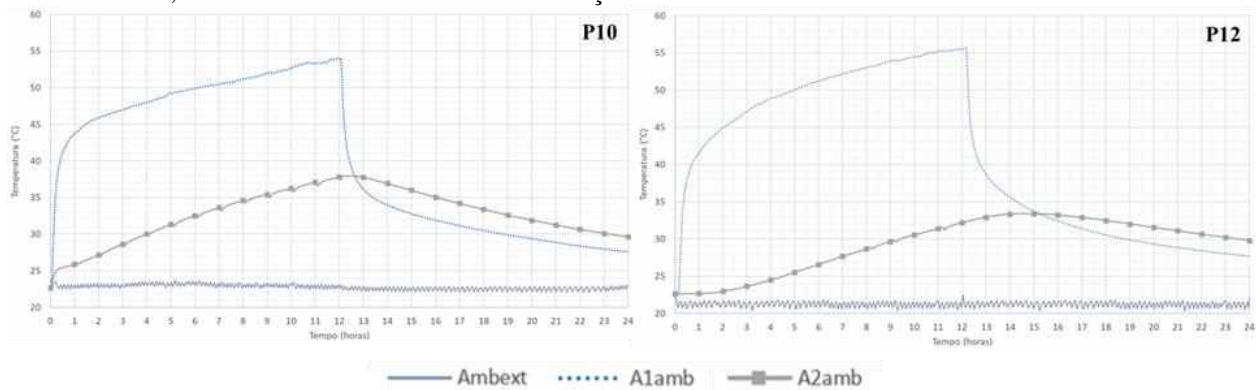


Figura 9 - Comparação entre as temperaturas de $A1_{amb}$ e $A2_{amb}$ em P10 e P12. Fonte: Elaboração Própria.

Na Figura 10 podem ser observados e comparados os valores de temperatura para as faces A1 e A2 em cada um dos ensaios. Embora as temperaturas na face A1 sejam maiores em P12, ao se comparar as temperaturas na face A2 para ambos os painéis pode ser visto que P12 obteve temperaturas aproximadamente $7^{\circ}C$ mais baixas que P10, comportamento proveniente da maior resistência térmica de P12. Além disso, nota-se também que a diferença de temperatura entre os sensores na face A1 e A2 é muito maior em P10 do que em P12, pois como P12 é uma parede sanduíche de concreto e EPS, a face de concreto voltada para o módulo de aquecimento tem sua temperatura elevada assim como P10, sendo ainda alimentada pelos maiores valores de $A1_{amb}$ de P12, entretanto, o calor não é conduzido da mesma forma ao alcançar a camada de EPS, em função de sua baixa condutividade térmica e alta resistência, sendo determinante para diferenças tão grandes de temperatura entre as faces de uma mesma parede.

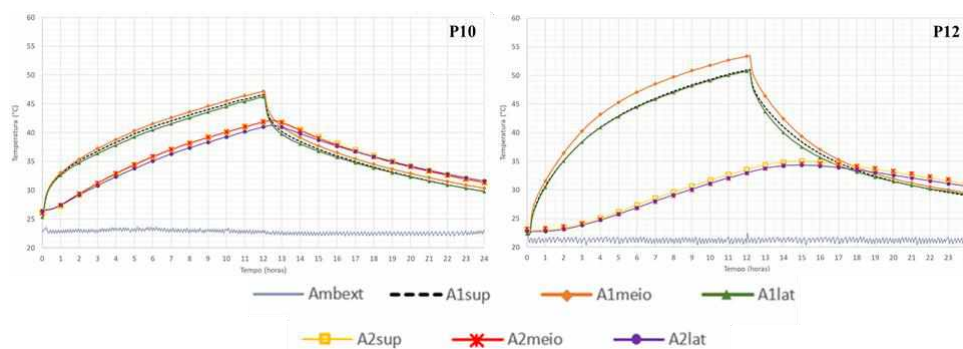


Figura 10 - Comparação entre as temperaturas das faces em P10 e P12. Fonte: Elaboração Própria. uecimento com localização dos sensores. Fonte: Elaboração Própria.

Na Tabela 1 há ainda o comparativo entre as temperaturas obtidas pelos três modos de medição utilizados: os ensaios em que a aquisição dos dados foi realizada pela Lynx, a câmara termográfica e o termômetro infravermelho de superfície. Nota-se então que na maioria dos casos os resultados obtidos pela câmara termográfica se mostraram mais próximos aos resultados dos ensaios aferidos pela Lynx do que o termômetro de superfície, o qual só apresentou temperaturas mais próximas ao ensaio para P10 no início das medições e para P12 com onze horas de ensaio.

Além disso, a maior diferença entre os valores encontrados pela câmara e pelo ensaio foi de 0,92°C para P10 no início das medições e 0,40°C para P12 na medição com onze horas de ensaio. Já em relação ao termômetro de superfície e os valores de temperatura do ensaio, as maiores diferenças foram de 1,17°C para P10 e 1,36°C para P12, ambos na aferição com quatro horas de ensaio. Com isso, pode-se considerar que os resultados dos ensaios estão próximos aos valores obtidos pelos demais métodos de medição, se aproximando mais das temperaturas originárias na câmara termográfica.

Tabela 1 - Comparação da Temperatura central na face A2 para P10 e P12 em três diferentes medições. Fonte: Elaboração Própria.

Comparação da Temperatura central na Face A2 de cada painel		Temperatura °C	
		P10	P12
Início	Ensaio	24,42	23,07
	Câmera Termográfica	23,50	22,70
	Termômetro de Superfície	24,80	23,50
4 horas	Ensaio	32,93	25,04
	Câmera Termográfica	33,30	25,10
	Termômetro de Superfície	34,10	26,40
8 horas	Ensaio	38,24	29,16
	Câmera Termográfica	38,40	28,80
	Termômetro de Superfície	39,30	29,90
11 horas	Ensaio	40,95	32,20
	Câmera Termográfica	41,30	31,80
	Termômetro de Superfície	41,60	32,40

5. CONCLUSÕES

A câmara térmica construída possibilitou a realização dos ensaios necessários, por meio dos quais foi possível verificar o perfil de transferência de calor para os dois painéis produzidos. Os ensaios realizados na câmara térmica corroboraram com os obtidos pelas simulações, apontando diferenças no atraso e no amortecimento térmico entre os painéis analisados, indicando que a parede sanduíche de concreto e EPS é menos suscetível a variações na temperatura exterior.

Ao ser realizada a moldagem do painel sanduíche em EPS, pôde-se verificar que o mesmo é um sistema possível de ser utilizado em construções *in loco*. Entretanto, foram observadas questões que dificultam a utilização do EPS, como a tendência de flutuar ao ser iniciada a concretagem em função da diferença de massa específica entre os materiais, sendo necessária a utilização de algum sistema de travamento para que a placa de EPS seja mantida fixa. Além disso, como o EPS é o elemento central da parede, a utilização de uma armadura dupla se faz necessária, fato que irá impor custos para a utilização desse sistema, além dos custos para a aquisição do próprio EPS. Ainda que a pesquisa tenha verificado a adequabilidade termo-energética da utilização do painel sanduíche de EPS e concreto para edificações multifamiliares no Rio de Janeiro, é preciso que seja analisado se tal sistema apresenta a capacidade estrutural necessária para sua utilização em edificações multifamiliares de até cinco pavimentos (máximo de andares empregado no programa MCMV).

Em relação aos ensaios na câmara térmica, não foi possível manter do lado A1 uma temperatura única para os dois ensaios, apontando a necessidade de um sistema automatizado de controle e a necessidade de incorporação de um sistema de resfriamento. Não foram mensuradas as trocas de calor entre a câmara térmica e o meio externo, no entanto, tais perdas foram consideradas como não significativas para a proposta do ensaio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Ensaio de abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
- _____. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

- _____. **NBR 16055**: Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos Procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.
- ALMEIDA, T.; SILVOSO, M.; BRASILEIRO, A. A Influência dos Materiais da Envolvente Vertical no Desempenho Termoenergético de uma Habitação Multifamiliar de Interesse Social no Rio De Janeiro. In: 3º Congresso Luso-Brasileiro Materiais de Construção Sustentáveis, Coimbra, 2018. **Anais...** Coimbra, 2018.
- CEF - CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Memorial Descritivo para Habitações de Interesse Social**. Fornecido pela Caixa Econômica Federal. Rio de Janeiro, 2017.
- CINTRA, L.B. **Avaliação das propriedades térmicas de concretos com ar incorporado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Uberlândia, 2017.
- CORSINI, Rodnei. Paredes Normatizadas. **TÉCHNE**, v. 183, dez. 2011. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/183/artigo287955-1.aspx>>. Acesso em março 2018
- GOMES, E.G.S. **Desempenho Térmico de Alvenarias: Uma Alternativa com o uso de Blocos Eva**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal da Paraíba, 2015.
- MORENO, Ana Cecília Rodrigues. **Minha Casa Minha Vida: Análise de Desempenho Térmico pela NBR 15.220-3, NBR 15.575, Selo Casa Azul E RTQ-R**. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável), UFMG. Belo Horizonte, 2013.
- PAIVA, J. A. C., COSTA, L. Z., VARELA, W. D., VELASCO, R. V. Dosagem de concretos para uso em placas de pisos elevados externos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2018. **Anais...** Foz do Iguaçu: ANTAC, 2018.
- PASSOS, Paulo Martins dos; CARASEK, Helena; AMARAL, Gabriel Martins. Avaliação da capacidade isolante térmica de revestimentos de argamassa. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.
- SINAT - Sistema Nacional de Avaliações Técnicas. **Diretriz para Avaliação Técnica de paredes estruturais de concreto moldadas no local: Concreto Leve ou Concreto Reforçado com Fibra de Vidro**. Brasília, 2017.
- SOUZA, Camila. **Avaliação do Desempenho Térmico de Vedações em Blocos de Concreto Produzidos com Lã de Rocha**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana). Universidade Federal da Bahia. Salvador: 2017.
- VASQUEZ, Elizabeth Maceira Antelo. **Análise do conforto ambiental em projetos de habitações de interesse social segundo a NBR 15.575:2013**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental), PUC. Rio de Janeiro, 2017.
- VELASCO, R. V., REIS, L. F., SILVOSO, M. M. Dosagem e Análise Experimental de Concretos Leves Estruturais para produção de painéis pré-fabricados. In: Jornadas Sudamericanas de Ingeniería structural, 2018. **Anais...** Lima, 2018.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos órgãos de fomento CNPq e FAPERJ pelo apoio à pesquisa realizada.