

DESEMPENHO TÉRMICO DE PLACAS À BASE DE ÓXIDO DE MAGNÉSIO APLICADAS NO SISTEMA LIGHT STEEL FRAME

Juliana Furtado Arrobas Martins (1); Carlos Eduardo Marmorato Gomes (2); Kelen Almeida Dornelles (3)

- (1) Arquiteta e Urbanista, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, juarrobas@hotmail.com
(2) Pós-Doutor, Professor Doutor da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Departamento de Arquitetura e Construção, Cx Postal 6143, Campinas-SP, 13083-889, Tel.: (19) 3521.2366, cemgomes@fec.unicamp.br
(3) Pós-Doutora, Professora do Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, Avenida Trabalhador São-Carlense, 400, São Carlos-SP, 13566-590, Tel.: (16) 3373-9285, kelend@usp.br

RESUMO

O cimento magnésiano apresenta grande relevância como produto alternativo ao cimento Portland e pode ser usado em várias aplicações, dentre elas, a produção de elementos construtivos para a construção a seco, tais como as placas, chapas e painéis. O presente estudo teve como premissa básica a análise térmica dessas placas comparativamente às aquelas tradicionalmente usadas no Brasil, à base de cimento Portland, e comumente empregadas na construção a seco. Para a realização deste estudo, foi construído um protótipo de Light Steel Frame (LSF) onde foram fixadas as placas de óxido de magnésio e de cimento Portland. A análise térmica foi realizada por meio da avaliação da temperatura superficial das placas e fotografias térmicas de infravermelho. Realizou-se a caracterização física de ambas as placas e, complementarmente, análises de calorimetria exploratória diferencial. Foi possível verificar que as placas de óxido de magnésio têm maior índice de vazios e menor massa específica, portanto menos densas que as placas de cimento Portland, propriedades que influenciaram positivamente em suas propriedades térmicas. Os resultados mostraram que as placas de óxido de magnésio podem contribuir para um melhor desempenho térmico do sistema de uma edificação em LSF. Neste sentido, as placas de MgO são apresentadas neste trabalho como alternativas às tradicionais placas de fibrocimento, evidenciando a importância de estudos sobre uma tecnologia amplamente utilizada em países como a China e os EUA, mas ainda incipiente no Brasil.

Palavras-chave: Placa de fibrocimento, cimento magnésiano, desempenho térmico, construção a seco.

ABSTRACT

The magnesium cement has great relevance as an alternative product to Portland cement and can be used in several applications, among them the production of construction elements for dry construction, such as plates, sheets and panels. Therefore, the present study had as basic premise make a thermal analysis of these boards compared to those traditionally used in Brazil, based on Portland cement, and commonly used in dry construction. For this study, a prototype of Light Steel Frame (LSF) was constructed where the plates of magnesium oxide and Portland cement were fixed. The thermal analysis was carried out by means of evaluation of the surface temperature of the boards and thermal infrared photographs. The physical characterization of both plates was carried out and, in addition, differential scanning calorimetry analyzes. It was possible to verify that the magnesium oxide boards have higher voids index and lower specific mass, therefore less dense than the Portland cement boards, properties that had a positive influence on their thermal properties. The results showed that the magnesium oxide boards can contribute to a better thermal performance of the system in LSF. In this sense, the MgO boards are presented in this work as alternatives to traditional fiber cement boards, evidencing the importance of studies on a technology widely used in countries such as China and the USA, but still incipient in Brazil.

Keywords: Fibercement board, magnesium cement, thermal performance, dry construction.

1. INTRODUÇÃO

Os aglomerantes são empregados na construção civil para fixar ou aglomerar materiais entre si. Dentre eles, o mais empregado é o Cimento Portland, que emite grande quantidade de gás carbônico durante seu processo de produção. Estima-se que a cada quilo de clínquer produzido, base do cimento Portland, um quilo de gás carbônico é liberado à atmosfera.

Mediante à crescente preocupação ambiental, em especial, a respeito da emissão de gases que colaboram com o efeito estufa, alternativas têm sido estudadas na substituição total ou parcial do Cimento Portland pela indústria da construção civil. Como exemplo, cimentos alternativos à base de magnésio, buscando manter as propriedades de resistência mecânica, porém diminuindo consideravelmente a emissão de CO₂ na fabricação do aglomerante.

O cimento magnesiano apresenta grande relevância ao se mostrar um produto alternativo ao cimento Portland e que pode ser utilizado para várias finalidades, dentre elas a produção de elementos construtivos para a construção a seco, como placas, chapas e painéis. Porém, no Brasil o uso desse cimento alternativo ainda se restringe principalmente para a produção de refratários. A cidade de Brumado (BA) possui a maior parte dos depósitos de matéria-prima para a produção de óxido de magnésio (GOMES e CAMARINI, 2014).

No mundo, a primeira aplicação em grande escala de cimento magnesiano ocorreu há mais de 10 anos em Pequim, China, devido aos Jogos Olímpicos, onde as placas de MgO foram amplamente utilizadas como um material para construção verde e desenvolvimento comunitário sustentável (BEIJING REPORT, 2009).

O cimento magnesiano também é conhecido como “cimento Sorel” devido à descoberta feita por Sorel no ano de 1867. Este cimento foi produzido primeiramente por uma reação entre óxido de magnésio e cloreto de magnésio resultando no cimento oxi-cloreto de magnésio (MOC) (EL-MAHLLAWY et al., 2012). Outros dois cimentos obtidos a partir do óxido de magnésio (MgO) são cimento oxi-sulfato de magnésio (MOS) e cimento de fosfato de magnésio (MAP). Neste estudo, foram aplicadas placas de cimento oxi-cloreto de magnésio (MOC) produzidas na China.

Sabe-se que os produtos à base de MgO têm propriedades refratárias quando expostos a temperaturas elevadas. Placas planas de óxido de magnésio têm baixa densidade e boa estabilidade dimensional. Em contrapartida, os painéis de fibrocimento Portland absorvem o calor excessivo e são mais densos. Porém, devido a propriedades como resistência, ductilidade, capacidade de flexão e resistência à fissura, o fibrocimento Portland têm sido frequentemente empregado como placas e painéis para edificações feitas em sistema de Light Steel Framing.

O principal ponto negativo é que o fibrocimento sofre alterações dimensionais quando é exposto à umidade e as fissuras são frequentemente observadas em juntas de Light Steel Framing no Brasil. Além disso, a condutividade térmica do fibrocimento Portland é maior do que as placas de MgO, além de que normalmente apresentam pior comportamento higrótérmico. Estas propriedades influenciam diretamente a qualidade do ambiente construído, bem como na durabilidade destes materiais quando expostos ao tempo.

Salienta-se que as placas, chapas e painéis estão sendo cada vez mais usadas na construção modular devido a diversos benefícios como agilidade e facilidade de execução, racionalidade e diminuição na produção de resíduos, além de possibilitarem maior liberdade construtiva.

A construção de edificações em LSF representa um processo pelo qual compõe-se um esqueleto estrutural em aço formado por diversos elementos individuais ligados entre si, passando estes a funcionar em conjunto para resistir às cargas que solicitam a edificação (FREITAS e CASTRO, 2006). O LSF como sistema construtivo consiste na utilização, exclusivamente, de materiais secos como, por exemplo, os perfis de aço formados a frio, as placas de vedação e as lãs de rocha ou de vidro para isolamento térmico (BURSTRAND, 1998).

Produzido no parque siderúrgico brasileiro e integrado com outros componentes industrializados, o aço empregado no sistema LSF substitui com vantagens técnicas, econômicas e ambientais, materiais como tijolos, madeiras, vigas e pilares de concreto; proporcionando um salto qualitativo no processo produtivo e posicionando a indústria nacional de construção civil de uma forma mais competitiva frente a um mercado globalizado (HERNANDES, 2009).

Sabe-se da importância da arquitetura e do material utilizado para a realização de análises térmicas, pois as condições ambientais dependem do comportamento dos edifícios. As temperaturas superficiais externas dos edifícios são influenciadas principalmente pela radiação solar e pela temperatura do ar exterior, que variam ao longo do dia. Sob efeito dessa variação, o fluxo térmico que atravessa uma parede externa de uma edificação irá variar, periodicamente, em intensidade e em sentido (RORIZ, 2008).

Ainda segundo Roriz, 2008, a relação entre as amplitudes térmicas superficiais da face interna e externa é chamada amortecimento, além disso, se a temperatura externa é máxima em um determinado período, a interna só atingirá seu valor máximo algum tempo depois. Esse atraso na transmissão da onda de

calor é denominado atraso térmico. O atraso e o amortecimento de uma onda térmica em regime periódico são devidos à chamada Inércia Térmica do elemento considerado, sendo o calor específico do material um importante componente. Com isso, a inércia térmica está diretamente ligada à capacidade do edifício de reduzir o calor transferido em suas maiores temperaturas e liberá-lo posteriormente.

A calorimetria exploratória diferencial (DSC) é uma técnica na qual mede-se a diferença de energia fornecida à substância e a um material de referência, em função da temperatura enquanto a substância e o material referência são submetidos a uma programação controlada de temperatura. De acordo com o método de medição utilizado, há duas modalidades: calorimetria exploratória diferencial com compensação de potência e calorimetria exploratória diferencial com fluxo de calor. Através dessas técnicas, podem-se acompanhar os efeitos de calor associados com alterações físicas ou químicas da amostra, tais como transições de fase (fusão ebulição, sublimação, congelamento, inversões de estruturas cristalinas) ou reações de desidratação, de dissociação, de decomposição, de óxido-redução, entre outras, capazes de causar variações de calor (IONASHIRO, 2004).

Com isso, o objetivo deste estudo consistiu em apresentar uma alternativa às placas comuns de fibrocimento utilizadas no Brasil, analisando o desempenho térmico de painéis alternativos feitos de MgO comparativamente às chapas planas de fibrocimento Portland, para uso em Light Steel Frame.

2. OBJETIVO

A presente pesquisa teve como objetivo a análise do desempenho térmico de painéis de LSF produzidos com perfis de aço conformados a frio, com fechamentos por meio de placas à base de óxido de magnésio de procedência chinesa e tecnologia baseada nos cimentos tipo Sorel oxi-cloretos, em comparação com as tradicionais placas de fibrocimento à base de cimento Portland produzidas no Brasil.

3. MÉTODO

Para realização deste estudo, a presente pesquisa foi dividida em duas etapas:

1. Caracterização física das placas planas;
2. Análise das temperaturas superficiais das placas por meio de fotografia térmica de infravermelho.

3.1. Materiais utilizados

Para o desenvolvimento desse estudo foram adotadas placas planas com dimensões de 1,20m x 2,40m e espessura de 8 mm, produzidas com a tecnologia oxi-cloreto. Este elemento construtivo tem sido comumente empregado na Ásia, sendo também observado seu emprego nos EUA e Chile.

Comparativamente, foram adotadas placas planas de fibrocimento nacionais com as mesmas dimensões e espessura, produzidas com cimento Portland, amplamente empregadas pela construção civil no Brasil, especialmente em fechamentos externos de construções em Light Steel Frame.

Para contraventamento dos painéis foram adotadas placas OSB - *Oriented strand board* – com dimensões de 1,20m x 2,40m e espessura de 11 mm.

3.2. Construção de protótipo em Light Steel Frame

Foram utilizados dois módulos de um protótipo experimental de Light Steel Frame (Figura 1 e Figura 2), construído junto ao Laboratório de Materiais de Construção da FEC, na Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, na cidade de Campinas – SP, com dimensões em planta de 2,5m x 2,5m e pé-direito de 3,0m, empregando-se perfis de aço conformados a frio (montantes e guias) com espessura 0,95mm e espaçamentos entre montantes de 0,40m. O contraventamento da estrutura foi realizado por meio de placas OSB (*Oriented strand board*) respeitando-se as dimensões e modulações apresentadas anteriormente, de forma a minimizar perdas e possibilitar o correto travamento da estrutura. Os parafusos de fixação das placas foram do tipo cabeça lenticular, ponta-broca, galvanizados, com dimensões de 4,2mm x 19mm. Especialmente na fixação das placas cimentícias (Sorel e Portland) foram utilizados parafusos com aletas com mesmas especificações dos anteriores. Também, foi empregada lã de vidro com densidade de 43kg/m³ como isolamento interno dos painéis.



Figura 1 – Estrutura em Light Steel Frame.



Figura 2 – Placas de fibrocimento fixadas na estrutura em LSF.

Na Figura 3 é possível observar os detalhes construtivos do sistema Light Steel Frame, bem como fixação das placas de fibrocimento de cimento Portland (corte A) e cimento magnésiano (corte B), juntamente com os painéis de OSB para contraventamento e a lã de vidro para isolamento.

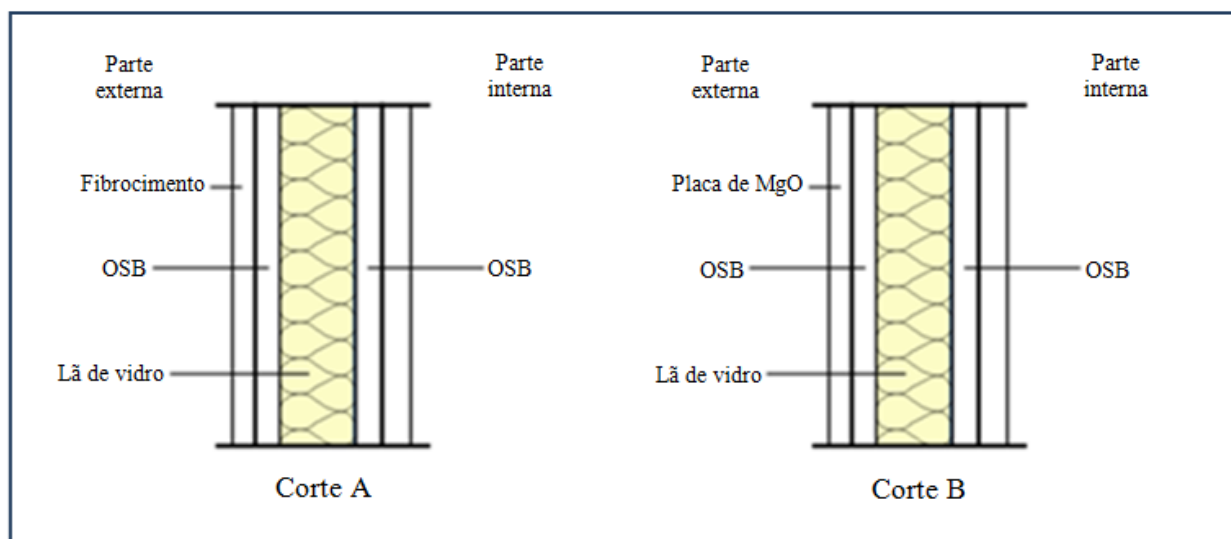


Figura 3 – Detalhes construtivos: (a) Painel construído com placa de fibrocimento Portland e (b) Painel construído com placa à base de óxido de magnésio.

3.3. Caracterização das placas planas cimentícias à base de cimento Portland e óxido de magnésio

A caracterização das placas cimentícias (Sorel e Portland) foi realizada por meio de ensaios realizados com base na ISO/DIS 8336 - Fibre-cement flat sheets - Product specification and test methods, comumente adotada para verificação das propriedades físicas destes elementos, a saber, absorção, índice de vazios e porosidade. Salienta-se que, tanto as placas nacionais em fibrocimento quanto às placas à base de cimento magnésiano importadas, possuem fibras sintéticas ou celulósicas em sua produção e são apropriadas para uso como fechamento internos e externos dos painéis de Light Steel Framing. O método utilizado para obtenção do calor específico dos materiais foi o DSC (calorimetria exploratória diferencial), que monitora os efeitos do calor associados a mudanças de fase ou reações químicas em função da temperatura.

3.4 Análise das temperaturas superficiais das placas por meio de fotografia térmica de infravermelho

Neste trabalho, foram realizadas análises da temperatura superficial dos painéis por meio de Fotografia Térmica de Infravermelho. A termografia é um método de diagnóstico importante na análise da eficiência energética da envoltória de uma edificação. Na literatura, verifica-se que a termografia de infravermelho tem sido usada como um método qualitativo, não destrutivo, para se detectar eventuais falhas no isolamento de um edifício (TAILE e DEKKICHE, 2015).

Com este método foi possível detectar diferenças de temperatura entre os diferentes fechamentos usados nos painéis.

Para aferição das temperaturas superficiais de infravermelho, utilizou-se uma câmera de infravermelho do fabricante Fluke, série Ti110, com sensibilidade térmica entre -20°C a 250°C , resolução de 120×160 pixels, e faixa de temperatura para registro entre -20°C a 250°C (Figura 4) do Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada (LACAF) da Universidade Estadual de Campinas.



Figura 4 – Câmera de infravermelho da marca Fluke, utilizada na pesquisa.

Como sabe-se, para cada uma das placas existe um valor de emissividade que varia de acordo com o tipo de material. O valor de emissividade das placas de cimento Portland é encontrado em diferentes literaturas e foi estabelecido como $\epsilon=0,93$. Em relação às placas de óxido de magnésio, determinou-se a temperatura real do objeto por meio de um termopar e em seguida ajustou-se a emissividade do sensor de radiação (termovisor) até se obter valor idêntico de temperatura. Com isso, o valor da emissividade das placas de óxido de magnésio adotado foi de $\epsilon=0,73$. Mediante as diferenças apresentadas, foi necessário variar os valores de emissividade na câmera de infravermelho, obtendo-se, então, duas imagens conforme o valor de emissividade considerado para cada placa.

Analisou-se as imagens de infravermelho no *software SmartView 3.15*, do fabricante da câmera. A partir dos relatórios de medição, fornecidos pelo *software* de leitura das termografias, foi possível comparar os resultados da distribuição de temperatura superficial em uma área de interesse da imagem de infravermelho dos dois conjuntos de placas analisadas. Este *software* dispõe de um conjunto de marcadores para facilitar a leitura e interpretação de dados de temperatura superficial, excluindo da análise dos resultados possíveis irregularidades, temperaturas de outros objetos e do entorno.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos nesta pesquisa.

4.1. Caracterização física das placas de cimento Portland e óxido de magnésio

A caracterização das placas de fibrocimento Portland e óxido de magnésio foi feita a partir de 8 corpos-de-prova para cada tipo das placas (Figura 5). Inicialmente os corpos-de-prova foram inseridos em estufa a 100°C durante 24 horas e, em seguida, foram pesadas para obtenção dos valores de massa no estado seco. Após essa primeira pesagem, os mesmos corpos de prova foram inseridos em um recipiente com água por um período 48 horas e foram pesados novamente para obtenção dos valores de massa no estado saturado,

bem como imersos por meio de balança hidrostática.



Figura 5 – Corpos de prova utilizados para realização da caracterização das placas analisadas.

Na Tabela 1 e Tabela 2 estão os valores obtidos tanto para os corpos-de-prova das placas à base de óxido de magnésio quanto à base de cimento Portland. É possível perceber que a placa de MgO possui maior índice de vazios e menor massa específica, sendo, portanto, menos densa do que as placas de fibrocimento. Tais características podem colaborar positivamente em seu desempenho térmico, uma vez que estão relacionadas à capacidade térmica do material e, conseqüentemente, à inércia térmica da edificação, pois, de acordo com Frota e Schiffer (2001) a inércia térmica está associada a dois fenômenos: o amortecimento e o atraso da onda de calor, devido ao aquecimento ou ao resfriamento dos materiais, e depende das características térmicas do envolvente e dos componentes construtivos internos. Frota e Schiffer (2001) comentam ainda que o atraso e o amortecimento, juntos, compõem a inércia térmica que varia conforme a densidade, condutividade térmica, capacidade calorífica e espessura da parede.

O calor específico considerado para as placas de óxido de magnésio foi de 0,96 kJ/kg.K e para as placas à base de cimento Portland 1,14 kJ/kg.K. Essas propriedades foram obtidas por meio de análises complementares de DSC (*Differential Scanning Calorimetry*) na faixa entre 25°C e 60°C. A tabela 3 apresenta os valores da capacidade térmica obtida.

Tabela 1 – Caracterização das placas à base de Óxido de magnésio.

MgO	Magnesiana						
	m seco (g)	m sat (g)	m imers (g)	Absor. (%)	Ind. vazios (%)	m esp sec (g/cm ³)	m esp sat (g/cm ³)
Média	23,58	32,15	7,08	35,18	33,05	0,94	1,28
Desvio Padrão	1,94	2,09	0,38	4,24	2,99	0,03	0,01

Tabela 2 - Caracterização das placas à base de cimento Portland

Fibrocimento	Cimentícia						
	m seco (g)	m sat (g)	m imers (g)	Absor. (%)	Ind. vazios (%)	m esp sec (g/cm ³)	m esp sat (g/cm ³)
Média	42,21	49,17	24,68	16,62	28,54	1,72	2,00
Desvio Padrão	4,59	5,36	2,75	0,19	0,19	0,01	0,01

Tabela 3 – Calor específico, densidade e capacidade térmica das placas analisadas.

Propriedades	calor específico	espessura	densidade	capacidade térmica
	[J/kg.K]	[m]	[kg/m ³]	[J/m ² .K]
Placa de fibrocimento	1.140	0,011	1.720	21,5
Placa de MgO	960	0,011	940	9,9

Parte do ganho de calor externo recebido durante o dia é armazenado na massa térmica dos elementos que compõe a envoltória da edificação, e somente parte do calor é transmitido para dentro da edificação. A massa térmica, então, expressa a habilidade dos materiais em armazenar uma quantidade significativa de energia térmica e retardar a transferência de calor através do componente de uma edificação.

Segundo Roaf (2006), o desempenho da massa térmica de uma edificação depende de muitos fatores, inclusive da capacidade térmica do material, da localização em relação a outros elementos da edificação e das estratégias de ventilação relacionadas. Através dos resultados obtidos com a caracterização das placas estudadas neste trabalho, é possível constatar na Tabela 3 que as placas de fibrocimento apresentam maior calor específico e maior densidade, possuindo, conseqüentemente, maior capacidade térmica do que as placas de óxido de magnésio.

A Inércia Térmica é uma característica dos sistemas construtivos, que provoca dois importantes efeitos sobre os fluxos de calor entre o ambiente interno das edificações e o meio exterior: redução das amplitudes (Amortecimento - μ) das temperaturas internas e defasagem (Atraso - ϕ) das mesmas em relação às temperaturas externas. A inércia térmica depende da Difusividade e da Efusividade Térmica dos materiais empregados nos sistemas construtivos e pode ser caracterizada como a capacidade que tem uma edificação de armazenar calor e liberá-lo algum tempo depois. Em edificações com pouca inércia térmica, as oscilações das temperaturas internas tendem a acompanhar as que ocorrem no ambiente externo (DORNELLES, 2004).

As placas de óxido de magnésio apresentam menor inércia térmica em relação às placas de fibrocimento, visto que liberam calor mais rapidamente quando as temperaturas externas começam a cair. Assim como explica Akutsu (2009), o uso de alta ou baixa inércia térmica em uma edificação dependerá do clima e das condições ambientais em que esta está inserida. Um material de elevada inércia térmica apresenta maior resistência às mudanças de temperatura, possuindo maior atraso térmico, sendo essa característica favorável ou não, dependendo da estratégia necessária para promover o conforto térmico.

A alta inércia térmica pode ser considerada negativa em componentes de cobertura e vedações que apresentem elevada exposição à radiação solar durante grande parte do ano, podendo transformar-se em acumuladores de calor e provocar elevado desconforto térmico no período de altas temperaturas.

A partir disso, os resultados que apresentaram a menor inércia térmica para as placas de MgO mostram que, para as condições em que o protótipo foi inserido e na fachada em que as placas foram fixadas, possuir menor inércia térmica é algo mais interessante termicamente em relação às placas de fibrocimento que possuem maior inércia térmica, pois, visto que o clima para a cidade de Campinas é predominantemente quente em grande parte do ano e que as placas recebem insolação direta, o fato das placas de óxido de magnésio perderem calor mais rapidamente pode ser considerado uma característica positiva termicamente, pois esse material deixaria de transmitir calor para o ambiente interno de forma mais rápida do que as placas de fibrocimento que manteriam esse ambiente quente por mais tempo.

Associada ao fator positivo da baixa inércia térmica das placas de MgO, para locais com clima predominantemente quente, é possível observar na Tabela 1 que essas placas possuem maior índice de vazios quando comparadas com as placas de fibrocimento (Tabela 2). Característica que também pode ser considerada interessante termicamente para o local onde o protótipo está inserido, visto que quanto maior o índice de vazios, maior a quantidade de ar no interior da placa, favorecendo o isolamento térmico e transmitindo assim menor quantidade de calor para o ambiente interno.

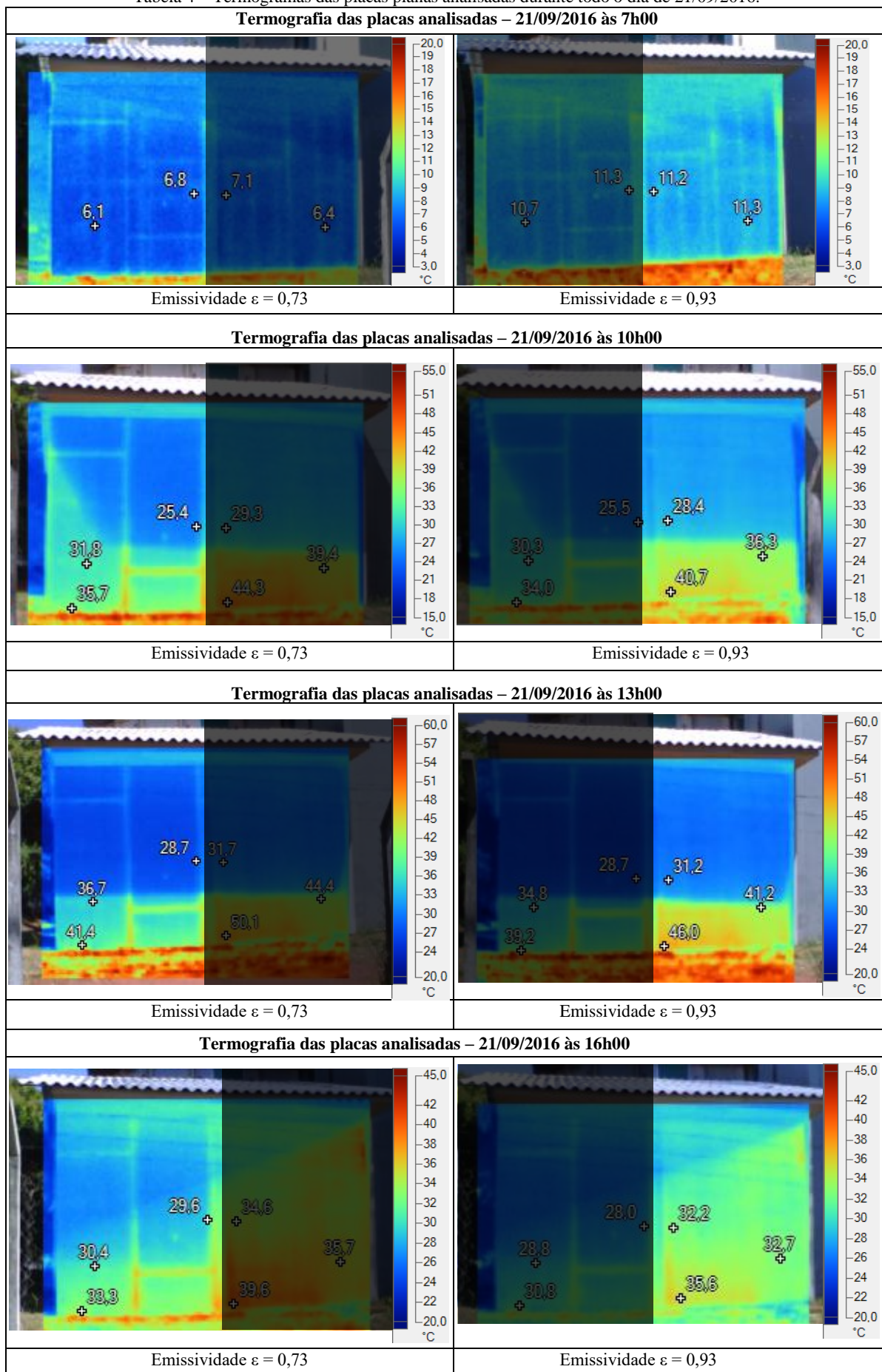
4.2. Avaliação da temperatura superficial – Termografia

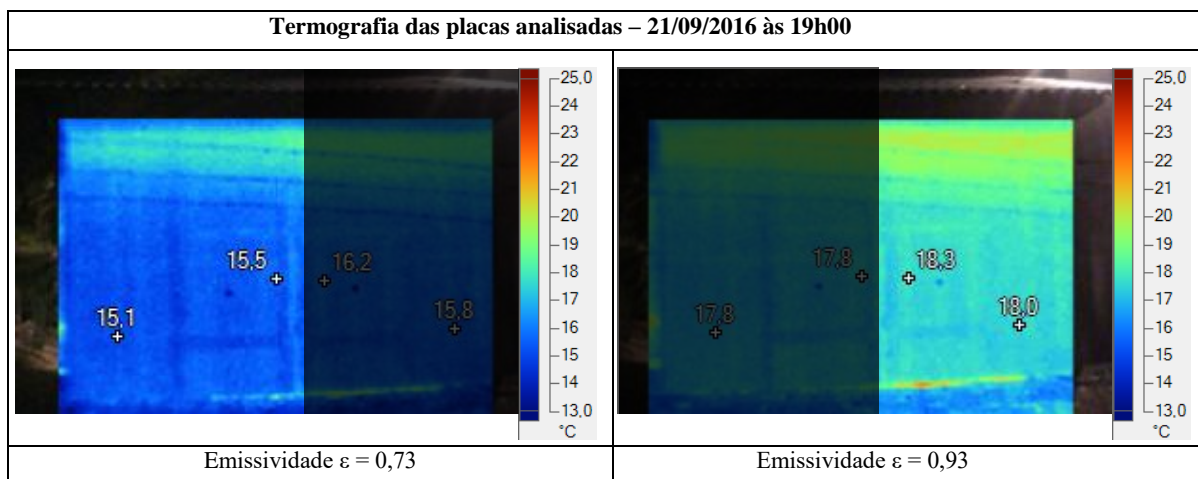
Posteriormente à caracterização das amostras das placas planas à base de cimento Portland e à base de óxido de magnésio, realizou-se a análise da temperatura superficial por termografia ilustradas na Tabela 4.

Vale ressaltar que as fotografias de infravermelho foram feitas em dias selecionados e secos, evitando-se realizar as medições com as placas saturadas, visto que o excesso de umidade poderia causar um resfriamento pela transpiração dos elementos analisados.

O levantamento de campo da distribuição de energia térmica radiante foi realizado nas placas planas fixadas no protótipo, as quais foram expostas ao sol no período de vinte dias, de 02 de setembro de 2016 a 22 de setembro de 2016, com registros das imagens térmicas a cada 3 horas, iniciando às 7h da manhã e finalizando às 19h. Apenas as imagens termográficas e os resultados obtidos no dia 21 de setembro de 2016 serão apresentados para análise neste artigo. Na Tabela 4, estão as imagens das placas analisadas obtidas por termografia no dia 21 de setembro de 2016, das 7h da manhã às 19h, realizando os registros a cada três horas.

Tabela 4 – Termogramas das placas planas analisadas durante todo o dia de 21/09/2016.





Na Tabela 4 estão as imagens obtidas por medições de temperatura superficial, sendo possível observar que as imagens obtidas às 13h00 são as que possuem maiores valores de temperatura no dia de medição analisado. Na tabela estão dispostas duas imagens por horário, cada uma com um valor de emissividade fixado, pois, assim como abordado anteriormente, as placas analisadas são de materiais diferentes e, com isso, possuem valores de emissividade distintos, o que interfere na obtenção das imagens por termografia.

As imagens à direita da tabela possuem emissividade de $\varepsilon = 0,93$, referente ao cimento Portland, portanto, as temperaturas a considerar são das placas de fibrocimento (fixadas no lado direito do protótipo). Para as placas à base de óxido de magnésio (fixadas no lado esquerdo do protótipo), o valor de emissividade considerado foi de $\varepsilon = 0,73$, sendo, então, considerado para este elemento, as temperaturas das imagens ilustradas à esquerda da tabela 4.

Neste horário, das 13h00, estão pontuadas temperaturas na sombra e em locais de incidência solar direta, evidenciando a diferença existente entre esses valores. É possível observar que, nesse horário com as maiores temperaturas do dia, a placa de óxido de magnésio tem como temperatura máxima superficial $T_{m\acute{a}x}=41,4^{\circ}C$, enquanto que a placa de fibrocimento apresenta $T_{m\acute{a}x}=46,0^{\circ}C$, evidenciando que as placas de MgO possuem menores temperaturas superficiais em relação às de fibrocimento.

Analisando os registros feitos com a câmara termográfica, é possível observar que, em todos os horários de registro, as placas de MgO apresentaram temperaturas superficiais inferiores às temperaturas superficiais das placas de fibrocimento, chegando a apresentar uma diferença de aproximadamente $5^{\circ}C$ de uma placa para a outra, fato este que pode influenciar nas temperaturas internas de ambientes que utilizam essas placas como forma de vedação.

Também é importante observar que as placas de fibrocimento, além de apresentarem temperaturas superficiais superiores às placas de magnésio, também apresentam maior dificuldade em perder calor para o meio: às 19h00, as placas de fibrocimento ainda apresentavam temperaturas superiores a $18^{\circ}C$, enquanto que as placas de magnésio já estavam com temperaturas até três graus menores. Essa facilidade em perder calor, em comparação às placas de fibrocimento deve-se ao fato de que o cimento magnésiano é menos denso que o fibrocimento.

Na Tabela 4, é possível perceber, ainda, que existem gradientes tangenciais de temperatura. Este fato pode estar relacionado às diferentes intensidades de radiação recebidas pelas placas. Sendo, um protótipo de habitação social, verificou-se que o beiral exerceu forte influência estabelecendo regiões de sombra sobre os elementos. Também, próximo ao solo, verificou-se regiões com temperaturas mais elevadas.

5. CONCLUSÕES

O presente artigo enfatizou algumas vantagens ambientais e térmicas do uso de cimento magnésiano em placas de vedação em relação às tradicionais de fibrocimento no contexto brasileiro, visto a disponibilidade de material em grande escala na região nordeste do Brasil e sua produção e consumo estão associados a menor emissão de CO_2 ao ambiente comparativamente ao cimento Portland.

Esta pesquisa demonstrou que as placas de MgO apresentam um maior índice de vazios em relação às placas de fibrocimento Portland e, com isso, apresentaram melhor desempenho térmico em relação às chapas planas convencionais utilizadas no Brasil.

Observou-se, também, que as placas de MgO que apresentaram menores temperaturas superficiais durante o dia, também possuem menor dissipação do calor ao ambiente, conforme os dados de capacidade térmica obtidos. De outra forma, as placas de fibrocimento que apresentaram temperaturas superficiais mais elevadas durante o dia, dissipam maior quantidade de calor ao ambiente.

As temperaturas superficiais por infravermelho mostraram que as placas de cimento de MgO, que possuem menor emissividade, apresentaram temperaturas mais baixas do que as de fibrocimento. Foi possível observar que, em todas as imagens obtidas, as placas de MgO apresentaram temperaturas superficiais inferiores às temperaturas superficiais das placas de fibrocimento, podendo influenciar nas temperaturas internas de ambientes que utilizam essas placas como forma de vedação.

Os resultados mostraram que os painéis de óxido de magnésio podem contribuir para um melhor desempenho térmico de um edifício em LSF. Portanto, as placas de MgO são apresentadas como uma interessante alternativa às placas comuns de fibrocimento utilizadas no Brasil, evidenciando a importância de mais estudos sobre esse material que são amplamente utilizados em países como a China e os EUA e ainda não utilizados no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- AKUTSU, M. **Inércia térmica, a chave do conforto**. AECWeb, 2009. Disponível em: <http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/inercia-termica-a-chave-do-conforto> 1499 10 0. Acesso em 13/02/2017.
- BEIJING REPORT. Independent Environmental Assessment: Beijing 2008. Olympic Games. United Nations Environment Programme (UNEP). February, 2009.
- BURSTRAND, H. **Light Gauge Steel Framing Leads the Way to an Increased Productivity For Residential Housing**. Stockholm: Swedish Institute of Steel Construction, 1998.
- EL-MAHLLAWY, M. S. et al. **Effect of type of mixing water and sand on the physico- mechanical properties of magnesia cement masonry units**. HBRC Journal, Cairo, April 2012, VOL.8 No. 1.
- FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M. **Steel framing: arquitetura**. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006.
- GOMES, C. E. M.; CAMARINI, G. **Magnesium Oxysulfate Fibercement**. Key Engineering Materials, Switzerland, Trans Tech Publications, Vol. 600, p. 308-318, March, 2014. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.600.308.
- HERNANDES, H. **Sistema industrializado de construção – steel framing edificações leves**. Disponível em: http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=146&colunas=2. Acesso em: 22 de janeiro de 2017.
- IONASHIRO, M. **GIOLITO**: Fundamentos da Termogravimetria, Análise Térmica Diferencial e Calorimetria Exploratória Diferencial. São Paulo: Giz Editorial, 2004.
- DORNELLES, K. A. **Estudo de Casos sobre Inércia Térmica de Edificações na Cidade de São Carlos, SP**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2004.
- RORIZ, M. **Conforto e desempenho térmico de edificações**. Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. São Carlos, 2008. Apostila.
- TAILEB, A.; DEKKICHE, H. Infrared Imaging as a Means of Analyzing and Improving Energy Efficiency of Building Envelopes: The case of a LEED Gold Building. **Procedia Engineering**, v. 118, p. 639-646, 2015.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual do conforto térmico**. 5ª ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pela concessão de bolsa de pós-graduação.