



Estudo do desempenho térmico de blocos maciços de gesso

L. L. M. Júnior^{a†}, Y. V. P. Tavares^a, P. I. B. Batista^a, H. J. T. de Araújo^a, A. M. M. Alves^a, R. S. De Oliveira^a

^a *Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica de Pernambuco, Recife, Brasil*

[†] *Autor para correspondência: liaxes.lima@gmail.com*

RESUMO

A análise do desempenho térmico em blocos de gesso utilizados na construção civil é fundamental para o estudo do conforto térmico em construções que utilizam esse material. O objetivo dessa pesquisa é avaliar o desempenho térmico de blocos maciços de gesso, através de uma câmara térmica com uma fonte de calor em seu interior. Utilizando termopares conectados a um termômetro digital, foi obtida a temperatura dos blocos a cada minuto, enquanto expostos à fonte de calor. Com uma câmera infravermelha foram capturados termogramas ao longo desse processo. Seguindo os procedimentos indicados pela norma NBR 15220 e NBR 15575, foram analisados quatro fatores: resistência térmica, atraso térmico, transmitância térmica e capacidade térmica. No aquecimento dos blocos houve uma variação máxima de 6,3° C no lado frio e 31,2° C no lado quente. Foi analisado o resfriamento do bloco GS 50+, obtendo-se o instante em que ocorre o equilíbrio térmico nos dois lados e comprovado nos termogramas correspondentes. Foi analisado em todos os blocos o desempenho térmico por meio do cálculo de parâmetros e o bloco que obteve melhores resultados foi o GS 100+.

1. Introdução

Embora o estado de Pernambuco, mais precisamente na região onde está localizado o Polo Gesseiro do Araripe, possua cerca de 90% da produção brasileira de gesso, estimada em dois milhões de toneladas segundo Peres et al. (2008), e seja o material de melhor qualidade do mundo, conforme afirma Baltar et al. (2004), ainda há dificuldades no aumento do seu aproveitamento por conta da falta de conhecimento de tecnologias. Há também a problemática da localização das jazidas, que se encontram distantes dos grandes centros consumidores. Mesmo assim, o crescimento do consumo anual atinge cerca de 8% ao ano no Brasil, de acordo com Paula (2016). Esse material apresenta diversas vantagens, dentre elas um custo mais baixo e tempo de execução menor em relação a outros. Na construção civil, é utilizado em forma de blocos em execução de paredes e divisórias internas (PERES et al., 2001), que se comparadas a alvenaria de blocos cerâmicos, é mais resistente e possui um maior isolamento térmico de acordo com Pires Sobrinho et al. (2010) e a condutividade térmica que descreve a habilidade de conduzir calor, influencia neste quesito de desempenho. O gesso possui um coeficiente de condutibilidade térmica equivalente a 0,46 W/ °C, logo, esse material é considerado um isolante térmico (INCROPERA, 2003).

Nesse estudo, se objetiva a análise do desempenho térmico de blocos de gesso maciço de diversas espessuras a partir do cálculo de parâmetros, conforme a NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT, 2013), além da análise e estudo experimental do desempenho térmico dos blocos por meio da termografia infravermelha, associado à utilização de termopares de contato.

2. Referencial teórico

2.1. Desempenho térmico

Conforto térmico, segundo Coutinho (2009), pode ser definido como “um estado de espírito que reflete a satisfação do indivíduo com as condições térmicas do ambiente no qual está inserido”. Para Duarte (2016), esse conceito depende de fatores físicos, fisiológicos e psicológicos. Sendo assim, é necessário o seu estudo para o atendimento de fatores como a satisfação do ser humano no ambiente. O desconforto térmico pode reduzir a produtividade das pessoas, além de impactar no consumo de energia elétrica de uma edificação devido ao uso de equipamentos de condicionamento artificial nos ambientes que não consigam fornecer conforto térmico suficiente para os seus usuários.

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013) apresenta procedimentos para a avaliação de desempenho térmico. Dentre eles, o procedimento simplificado onde se verifica o atendimento aos seus requisitos e critérios com base na transmitância térmica e capacidade térmica das paredes de fachada e coberturas. A norma também apresenta o procedimento por simulação computacional, que é realizado quando os valores obtidos para a transmitância e/ou capacidade térmica não atendem aos requisitos mínimos estabelecidos na norma.

A Tabela 1 apresenta a definição dos parâmetros de avaliação de desempenho térmico segundo a NBR 15220.

Tabela 1 - Definição de parâmetros conforme a NBR 15220.

Parâmetro	Definição conforme a NBR 15220
Resistência térmica total	Somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais interna e externa.
Transmitância Térmica	Inverso da resistência térmica total.
Capacidade térmica	Quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema
Atraso térmico	Tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor
Absortância	Quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície

2.2. Termografia

De acordo com Sousa (2010), a termografia infravermelha tem o objetivo de converter a radiação térmica que é emitida pela superfície de um objeto, que é invisível a olho nu devido a seu comprimento de onda, em imagens visuais detalhadas do perfil de temperaturas. Para esse ensaio é utilizado uma câmera termográfica que capta a radiação térmica ou infravermelha emitida sem ter qualquer contato com o objeto analisado.

O ensaio de termografia infravermelha apresenta diversas vantagens em relação a outros ensaios, conforme afirmam Mendonça, Amaral e Catarino (2013), como o fato do ensaio ser não destrutivo, econômico, preciso, apresentar eficiência em relação a trabalho e equipamento e por possuir capacidade de análise de pequenas ou grandes áreas.

Com relação à radiação infravermelha, de acordo com Barreira (2004 p.27), ela é captada

pelos equipamentos de termografia, e transformada em sinais elétricos, gerando uma imagem térmica do corpo estudado de forma que sejam distribuídas cores diferentes para temperaturas distintas.

2.3. Revisão da literatura

A simulação do comportamento térmico de materiais de construção tem sido objeto de estudo em pesquisas recentes com o uso de câmaras termográficas. Utilizando uma fonte de calor e termopares conectados em diferentes pontos do material, podem ser obtidas informações sobre o desempenho térmico e o fluxo de calor no mesmo.

Uma análise da condutividade térmica de mini paredes e outros parâmetros descritos na NBR 15220 (ABNT, 2005) foi realizada por Silva, Cahino e Melo (2012). As mini paredes eram constituídas de tijolos cerâmicos e blocos de concreto com substituição parcial do agregado miúdo por Etileno Acetato de Vinila – EVA. Em ambas as faces das mini paredes, termopares tipo K foram instalados para medição a cada minuto. Como fonte de calor, foi utilizada uma lâmpada de 250 W posicionada a 20cm da parede. Como resultado, observou-se uma melhora no atraso e resistência térmica dos blocos que possuíam EVA.

Em um estudo semelhante, Specht et al. (2010) analisou a transferência de calor em diferentes tipos e disposições de materiais em paredes de tijolos maciços. Para isso, foi montada uma câmara térmica de madeira com revestimento interno de poliestireno expandido (EPS) e papel laminado. Dentro da câmara, foi colocada uma lâmpada incandescente de 250 W e um reostato. Da mesma forma, as medições de temperatura foram realizadas através de termopares tipo K, localizados nas diferentes camadas das paredes testadas. Os autores observaram que os valores obtidos nos ensaios eram coerentes com os obtidos através de simulações matemáticas.

Além de análises focadas nos materiais constituintes das paredes, também podem ser executados experimentos relacionados aos revestimentos e decorações de fachada, como é o caso da pesquisa de Ottelée e Perinib (2017). Foi mensurada a contribuição de jardins verticais no comportamento térmico de paredes, sendo usada, para isso, uma câmara térmica com fonte de calor infravermelha e termopares. Os resultados mostraram que a simulação foi bem sucedida, obtendo valores precisos da variação de temperatura.

Considerando o exposto, a realização de simulações do desempenho térmico de materiais empregados na construção civil tem se mostrado uma ferramenta útil para indicar a solução ideal em diversos sistemas construtivos.

3. Metodologia

Para esse projeto foram cortados 4 blocos de gesso maciços nas dimensões de (42 x 42) cm (Figura 1). Os tipos de blocos de gesso maciços utilizados foram: Gesso Standard 50 mm (GS50+), utilizado mais para decoração, Gesso Standard 70 mm (GS70+), Gesso Standard 100 mm (GS100+) e Gesso hidrofugado 100 mm (GH100+).

Foi desenvolvida uma câmara térmica nas dimensões de (43 x 40 x 43)cm com a finalidade de serem realizados os ensaios. Os espaços vazios foram preenchidos com tiras de isopor, devido ao mesmo ser um bom isolante térmico. Seu interior possui uma lâmpada de 250 W (Figura 2) como fonte de calor que se localiza a uma distância de 11,5 cm do bloco. A caixa também conta com dois sensores de temperatura situados no lado quente e frio da câmara térmica, onde são medidas as temperaturas do ar que atingem ambas superfícies dos blocos. Vale ressaltar que a sala onde foram realizados os ensaios tinha sua temperatura controlada, o que possibilitou simular o lado frio de cada bloco.



Figura 1 - Blocos de Gesso Maciço (42 x 42) cm.



Figura 2 - Câmara térmica com lâmpada infravermelha.

Silva, Cahino e Melo (2012) fizeram ensaio semelhante e verificaram que o termopar localizado no centro do bloco recebeu a maior incidência da fonte de calor. Sendo assim, nesse estudo foram introduzidos sensores de temperatura (termopares) na parte central das superfícies dos blocos de gesso de maneira que a face exposta ao calor (lado quente) recebesse a maior incidência (Figura 3); outro termopar foi fixado na face oposta (lado frio). Foram utilizadas tachas metálicas para a fixação. Em seguida, os termopares foram conectados a um termômetro digital de 4 canais MT-1044 - MINIPA®, planejado de maneira a registrar os valores das temperaturas a cada minuto. Em alguns blocos, foi registrado o processo de resfriamento após serem retirados da câmara.

Para o processo de resfriamento do bloco GS 50+, foram obtidos termogramas utilizando uma câmera termográfica. De acordo com Avdelidis e Moropoulou (2003), Guerrero et al. (2005) e Barreira e Freitas (2007), para o processo de medição em infravermelho, é importante definir

variáveis de entrada como por exemplo a emissividade que influenciarão em obter melhores imagens térmicas. Os dados de entrada utilizados na câmera foram a emissividade 0,91 e a distância do objeto de 1 metro. As análises das imagens foram feitas com o auxílio do software gratuito FLIR TOOLS®.



Figura 3 - Termopares na superfície fixadas com tachas metálicas no centro do bloco.

A Tabela 2 apresenta o método de cálculo executado dos parâmetros em cada bloco, onde foram adotados condutividade térmica (λ) do material de 0,35 W/ (m.K), calor específico (c) de 0,84 kJ/ (kg. K), e densidade de massa aparente (ρ) de 875 kg/m³ para os blocos standard e de 800 kg/m³ para o bloco hidrofugado.

Tabela 2 - Definição de parâmetros conforme a NBR 15220.

	$RT = Rt + Rse + Rsi$, onde:
Resistência térmica total (RT)	Rse = Resistência superficial externa
	Rsi = Resistência superficial interna (Tabela A1 da NBR 15220)
	$Rt = (\text{Espessura do bloco} / \lambda)$
Transmitância Térmica (U)	$U = 1/ RT$
Capacidade térmica (CT)	$CT = \text{Espessura do bloco} \times c \times \rho$
Atraso térmico (φ)	$\varphi = 0,7284 \times \sqrt{RT \times CT}$

4. Resultados

Verifica-se pela Tabela 3 e Figura 4 que no lado frio, até os 28 minutos de tempo transcorrido, não ocorreram mudanças significativas na temperatura. Contudo, após esse tempo, houve um crescimento da mesma. O bloco que mais aqueceu foi o GS 50+ onde houve um aumento de 6,3°C no período de tempo estudado, enquanto que os blocos GS 100+ e GH 100+ apresentaram um aumento de 0,1°C em toda a análise.

Tabela 3 - Variação de temperatura para o lado frio dos blocos.

Tempo (hora:min.)	Temperatura (°C) GS 50 +	Temperatura (°C) GS 70 +	Temperatura (°C) GS 100 +	Temperatura (°C) GH 100 +
00:01:00	25,9	24,9	26,5	26,7
00:14:00	25,9	24,8	26,3	26,3
00:28:00	27,3	25,6	26	26,1
00:43:00	29,2	27	26,1	26,2
00:57:00	30,7	28,2	26,2	26,4
01:12:00	32,2	29,6	26,6	26,8
Variação (°C)	6,3	4,7	0,1	0,1

No lado quente (Tabela 4 e Figura 5), todos os blocos apresentaram um aquecimento notável até os 28 minutos. Após esse tempo, ao alcançar o intervalo de 45-50°C, os blocos aqueceram de forma mais gradativa. Pode-se perceber que o bloco com maior variação de temperatura no aquecimento foi o de GH 100+, com 31,2°C, seguido pelo GS 50+ de 29,7°C, GS 70+ de 28,8°C e aquele com menor mudança de temperatura, o GS100+, que foi de 23,5°C.

Foi registrado o resfriamento do bloco GS 50+ para o lado frio e para o lado quente (Figura 6). O tempo total de análise do resfriamento foi de 2 horas e 57 minutos, e nesse bloco para o lado frio, foi obtido um decréscimo de 11,2°C em todo esse período. Para o lado quente, houve um decréscimo maior, que foi de 26°C. Passados 32 minutos desde o início da análise, o ponto de equilíbrio térmico de ambas as faces foi alcançado, cujos valores, nos pontos centrais dos lados frio e quente foram de 34,3°C nos termopares e 34,2°C nos termogramas (Figuras 7b e 7c). Após isso, as temperaturas de ambos os lados começaram a apresentar um decréscimo semelhante.

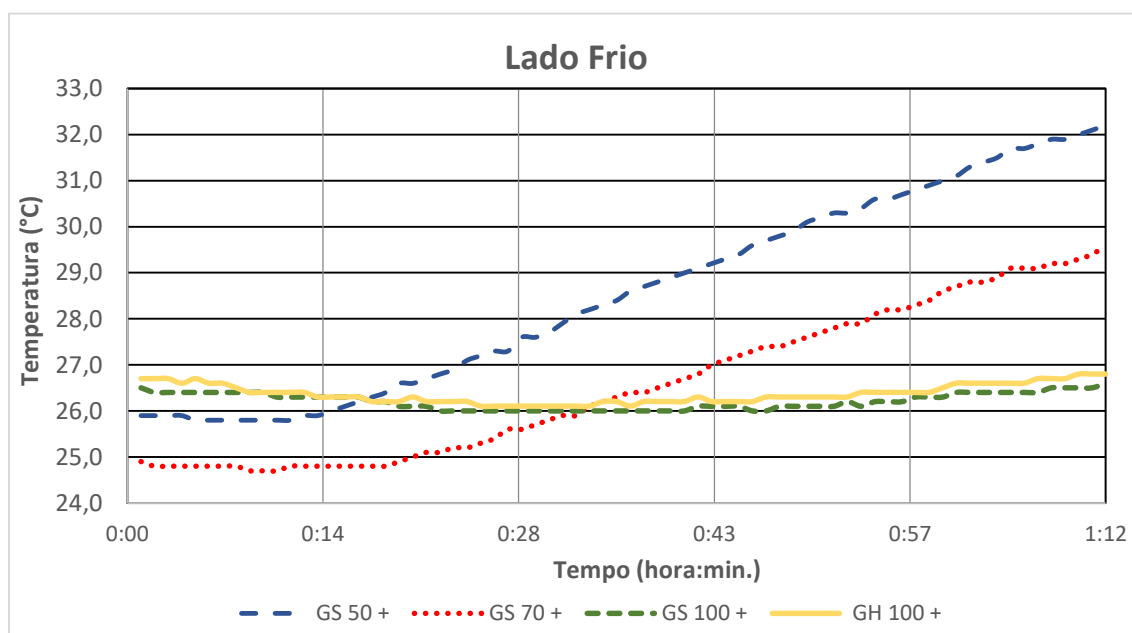
**Figura 4** - Temperatura em relação ao tempo para o lado frio dos blocos.

Tabela 4 - Variação de temperatura para o lado quente dos blocos.

Tempo (hora:min.)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)
	GS 50 +	GS 70 +	GS 100 +	GH 100 +
00:01:00	26,1	30,1	26,8	29,3
00:14:00	40,8	43,4	38,1	44,6
00:28:00	46,4	49,3	42,9	50,6
00:43:00	50,9	53,8	46,3	55,3
00:57:00	53,4	56,9	48,6	58,1
01:12:00	55,8	58,9	50,3	60,5
Variação (°C)	29,7	28,8	23,5	31,2

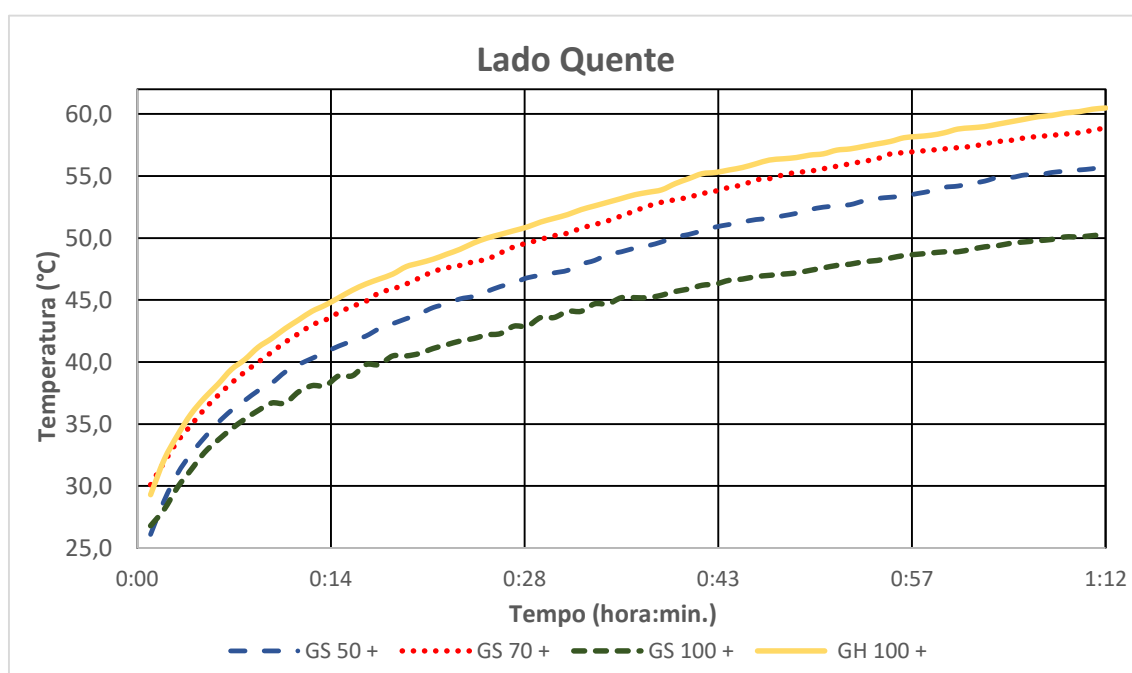


Figura 5 - Temperatura em relação ao tempo para o lado quente dos blocos.

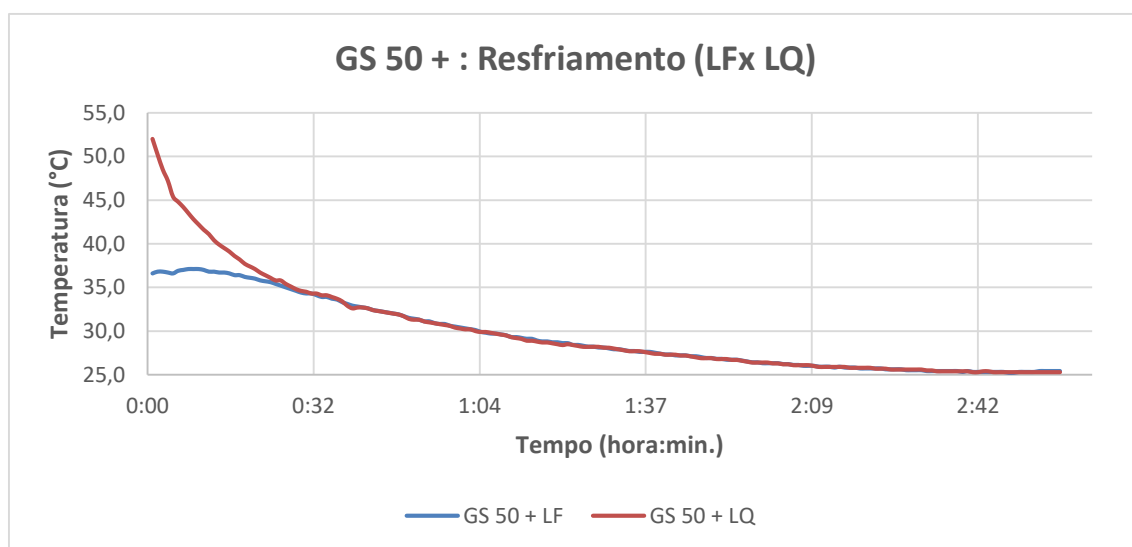


Figura 6 - Resfriamento do bloco GS 50+ em relação ao tempo de análise.

Ainda nas Figuras 7b e 7c pode ser observado um foco de aquecimento na parte central do bloco, consequência do posicionamento da fonte de calor, que se encontra mais próxima dessa região. No termograma da lateral do bloco, observou-se também a situação de equilíbrio térmico entre os lados. Porém, além do menor aquecimento das laterais e em decorrência do efeito de borda, onde o fluxo de calor do bloco para o ambiente é mais sensível, as temperaturas marcaram 27,1°C nas bordas e 29,4°C na parte central (Figura 7a).

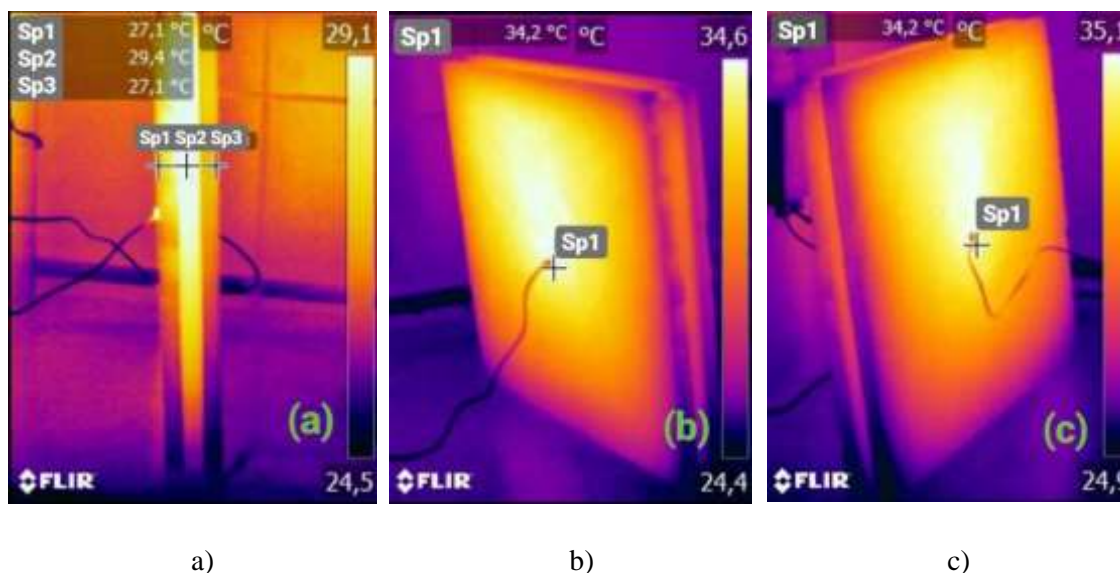


Figura 7 –Termogramas do bloco GS 50+ aos 32 minutos de resfriamento. a) Lateral; b) Lado quente; c) Lado frio.

Tabela 5 - Parâmetros calculados para todos os blocos em estudo.

Bloco	Resistência térmica total (m ² .K)/W	Transmitância térmica W/(m ² .K)	Capacidade térmica kJ/(m ² .K)	Atraso Térmico (horas)
GS 50+	0,31	3,2	37	1,67
GS 70+	0,37	2,7	51	2,33
GS 100+	0,46	2,19	74	3,34
GH 100+	0,46	2,19	67	3,19

A Tabela 5 apresenta os valores obtidos dos parâmetros para cada bloco. No cálculo da resistência térmica total, a maior foi de 0,46 (m². K) /W dos blocos GS100+ e GH100 + e o menor de 0,31 (m². K) /W do bloco GS 50+, ou seja, os blocos GS 100+ e GH 100+ resistem melhor ao fluxo térmico. Para a transmitância térmica, que corresponde ao inverso da resistência térmica, o bloco GS 50 + apresenta o maior valor, de 3,2 W/ (m². K) e o menor foi dos blocos GS 100+ e GH 100+, de 2,19 W/(m².K).

O cálculo da capacidade térmica teve comportamento semelhante ao de resistência térmica, com o bloco GS 100+ apresentando a maior capacidade térmica, de 74 kJ/(m².K) e o bloco GS 50+ a menor, de 37 kJ/(m².K), dessa forma o bloco GS 100+ exige uma maior quantidade de energia para elevar sua temperatura.

Foi possível perceber que o cálculo da resistência térmica e da capacidade térmica foram diretamente proporcionais à espessura do bloco, ou seja, quanto maior a espessura do bloco, maior

a resistência e capacidade térmica proporcionada. Os blocos GS 100+ e GH 100+ foram os que apresentaram maior dificuldade para a passagem de calor. Com relação à transmitância térmica, ela é inversamente proporcional à espessura, logo, quanto maior a transmitância térmica, menor a espessura; GS 100+ e GH 100+ foram os que apresentaram os menores valores desse indicador, ou seja o fluxo de calor que os atravessará será menor e conseqüentemente terão um melhor desempenho térmico em relação aos demais blocos estudados.

Na análise do parâmetro do atraso térmico destacou-se o bloco que possuiu maior valor para esse parâmetro: o GS100+, seguido do GH 100+, pois quanto maior esse indicador, mais tempo o bloco levará para atingir a temperatura externa.

5. Conclusões

Pode-se afirmar que os blocos de maior espessura, GS 100+ e GH 100+, apresentaram um desempenho térmico satisfatório quando relacionado ao lado frio analisado, já que praticamente não houve aumento na temperatura, ou seja, os blocos não absorveram calor que poderia influenciar no conforto térmico. No caso do bloco GS 50+, este apresentou um aumento de temperatura considerável dada a sua menor espessura, o que o torna insatisfatório com relação ao seu desempenho térmico.

Para o aquecimento do lado quente o bloco GS 100+ obteve a menor variação de temperatura, ou seja, absorveu menos calor e apresentou desempenho térmico mais satisfatório em relação aos demais.

No caso do bloco GH 100+, houve uma variação de temperatura no aquecimento do lado quente de 31,2°C, atingindo temperatura superior a 60°C, que pode ser explicado pelo fato de o ensaio ter sido realizado enquanto o bloco de gesso standard GS 100 + estava no processo de resfriamento, ou seja, a câmara térmica já estava aquecida quando o estudo do bloco GH 100 + iniciou, com diferença de temperatura de 3°C em relação ao ensaio do GS 100 +.

A termografia infravermelha é uma técnica bastante sensível às condições ambientais e aos parâmetros do ensaio. As temperaturas obtidas para os lados frio e quente nos termogramas e termopares foram similares. Essa correspondência nos valores pode ser atribuída não só à precisão dos parâmetros de entrada na câmara infravermelha como emissividade, umidade relativa do ar ou temperatura ambiente, mas também ao correto controle de todo ambiente e procedimentos do ensaio.

O bloco que apresentou o melhor desempenho térmico nesse estudo em relação aos parâmetros calculados foi o GS100+, pois apresentou maior resistência térmica, capacidade térmica e atraso térmico e menor transmitância térmica.

Referências

- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 15220-3 - Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro. 2005.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 15220-2 - Desempenho Térmico das Edificações. Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes construtivos. Rio de Janeiro. 2005.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 15575-1: Edificações habitacionais - Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro. 2013.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 15575-4: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro. 2013.

- Avdelidis, N. P. e Moropoulou, A. Emissivity considerations in building thermography. *Energy and Buildings*, 35, p. 663-667. 2003.
- Baltar, C. A. M., Bastos, F. F. e Borges, L. E. P. Variedades mineralógicas e processos utilizados na produção dos diferentes tipos de gesso, in: *XX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa*, p.769-776. 2004.
- Barreira, E. S. B. M. Aplicação da termografia ao estudo do comportamento higrotérmico dos edifícios. *Dissertação de Mestrado em Construção de Edifícios* – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 2004.
- Barreira, E.; Freitas, V.P. Evaluation of buildings materials using infrared thermography. *Construction And Building Materials*, 21, p. 218-224. 2007.
- Coutinho, A. S. Conforto térmico e insalubridade térmica em ambientes de trabalho. João Pessoa: Ed. Universitária. 2009.
- Duarte, V. C. P. *Desempenho Térmico De Edificações*. Florianópolis, Brasil. 2016.
- Guerrero, I. C.; Ocaña, S. M.; Requena, I. G. Thermal - physical aspects of materials used for the construction of rural buildings in Soria (Spain). *Construction and Buildings Materials*, 19, p. 197-211. 2005.
- Incropera, F.P., Dewitt, D.P., *Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa*, 4ª edição, Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, Brasil. 2003.
- Mendonça, L. V.; Amaral, M. M.; Catarino, P. S. . *A termografia por infravermelhos como ferramenta para auxílio à inspeção e manutenção dos edifícios*. Lisboa: Spybuilding. 2013.
- Ottelá, M; Perinib, K. Comparative experimental approach to investigate the thermal behaviour of vertical greened façades of buildings. *Ecological Engineering*, 108, p. 152 -161. 2017.
- Paula, P. R. F. . Avaliação do desempenho higrotérmico de casas de gesso no brasil. *Tese de Doutorado - Curso de Engenharia Civil*, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto. 2017.
- Peres, L.; Benachour, M.; Santos, V. A. *O Gesso: produção e utilização na construção civil*. Bagaço, Recife, Brasil. 2001.
- Peres, L.; Benachour, M.; Santos, V.A. *Gesso: Produção e utilização na construção civil*. Sebrae, Recife, Brasil. 2008.
- Pires Sobrinho, C. W. A., Bezerra, N. M., Costa, T. C. T. e Silva, C. B. A. Divisórias internas de edifícios em alvenaria de blocos de gesso, in: *Congresso Internacional De Tecnologia Aplicada Para A Arquitetura E Engenharia Sustentáveis*, 2, p. 1 – 12. 2010.
- Silva, E. P., Cahino, J. E. M. e Melo, A. B. . Avaliação do desempenho térmico de blocos EVA, in: *Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído*, 14, p.1478 – 1484. 2012.
- Sousa, L. F. R. de. Aplicação de Termografia no Estudo do Isolamento Térmico de Edifícios. *Dissertação de Mestrado - Curso de Engenharia Mecânica*, Universidade de Aveiro, Aveiro. 2010.
- Specht, L. P.; Borges, P. A. P.; Rupp, R. F.; Varnier, R. Análise da transferência de calor em paredes compostas por diferentes materiais. *Ambiente Construído*, v. 10 (4). 2010.