

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE ALVENARIAS EM BLOCOS DE CONCRETO PRODUZIDOS COM LÃ DE ROCHA¹

THERMAL PERFORMANCE EVALUATION OF MASONRIES IN CONCRETE BLOCKS PRODUCED WITH ROCKWOOL

CAMILA ROCHA DE SOUZA, SANDRA HELENA MIRANDA DE SOUZA, FRANCISCO GABRIEL SANTOS SILVA, JARDEL PEREIRA GONÇALVES

RESUMO

Diretamente relacionado à eficiência energética de uma edificação e à promoção do conforto aos usuários, o desempenho térmico do edifício é um dos critérios abordados nas normas de desempenho brasileiras. Acrescentando-se o fato de que a alvenaria estrutural em blocos de concreto se apresenta como um sistema construtivo de larga utilização em todo o território brasileiro, faz-se pertinente investigar alternativas que melhorem o seu desempenho térmico. A presente pesquisa desenvolveu blocos de concreto com diferentes percentuais de lã de rocha na sua composição, 0%, 10%, 20% e 30%, em substituição parcial à areia. Para a avaliação do desempenho térmico de alvenarias compostas por esses blocos, para a Zona Bioclimática-8, a pesquisa investigou a influência da lã de rocha incorporada ao bloco, bem como analisou a influência da argamassa de revestimento e da pintura no comportamento térmico das alvenarias. Os resultados obtidos mostraram que a lã de rocha otimizou o desempenho térmico das alvenarias, especialmente na percentagem de 30% e quando rebocada e pintada com cores claras na superfície externa da alvenaria.

PALAVRAS-CHAVE: Bloco de concreto. Desempenho térmico. Lã de rocha.

ABSTRACT

Directly related to a building's energy efficiency and the promotion of user comfort, the building's thermal performance is one of the criteria addressed in the Brazilian performance standards. Adding the fact that structural masonry in concrete blocks presents itself as a constructive system widely used throughout the Brazilian territory, it is pertinent to investigate alternatives that improve its thermal performance. The present research developed concrete blocks with different percentages of rock wool in their composition: 0%, 10%, 20%, and 30% of rock wool, as partial replacement for sand. To evaluate the thermal performance of masonry composed of these blocks, for the Bioclimatic Zone-8, the research investigated the influence of the rock wool incorporated to the block, as well as the influence of coating mortar and paint on the thermal behavior of masonry. The results showed that rock wool optimized the thermal performance of the masonry, especially in the 30% percentage and when plastered and painted with light colors on the external surface of the masonry.

KEYWORDS: Concrete blocks. Rock wool. Thermal performance.

INTRODUÇÃO

O SISTEMA CONSTRUTIVO racionalizado de alvenaria estrutural em blocos de concreto vem sendo amplamente adotado em construções de todo o território brasileiro. Ramalho e Corrêa (2003) destacam que esse sistema construtivo parece ser um dos mais promissores, tanto pela economia proporcionada quanto pelo número de fornecedores já existentes. Dentre as diversas vantagens oferecidas, Salvador Filho (2007) ressalta o fato de que o material é fabricado a partir de matérias-primas facilmente encontradas em qualquer região do país, tornando os artefatos pré-moldados, à base de cimento, produtos competitivos.

Nas últimas décadas, além da racionalização, o setor da construção civil vem procurando aprimorar os sistemas construtivos, sob a lógica da eficiência energética, através de soluções arquitetônicas e tecnológicas. O foco tem sido garantir um melhor desempenho térmico às edificações, a fim de propiciar conforto térmico aos seus usuários. A alvenaria em blocos de concreto tem sido utilizada largamente, enquanto poucos trabalhos têm se preocupado em investigar esse sistema construtivo para propor parâmetros que proporcionem uma melhor adaptação do sistema às condições de conforto térmico, visto a grande diversidade de climas por todo o território brasileiro.

Pesquisas apontam o bloco de concreto como um componente construtivo que apresenta índices elevados de ganhos de calor. Sacht e Rossignolo (2009) constataram, através de simulações térmicas computacionais, que a habitação multipavimentos analisada, cuja vedação foi considerada em alvenaria com blocos de concreto, para o verão, não atendeu ao nível mínimo de desempenho térmico para dez cidades brasileiras consideradas. Em análise comparativa, considerando envoltórias de edifícios em blocos cerâmicos e em blocos de concreto de mesmas dimensões, baseada na observação de quais componentes construtivos proporcionariam maior ou menor ganho de calor para a habitação, os resultados validaram que a envoltória em blocos cerâmicos apresentou maior quantidade de horas dentro da zona de conforto térmico, com as menores temperaturas internas no verão, além de proporcionar ganhos de calor inferiores no dia do solstício de verão. Portanto, as envoltórias dos edifícios em blocos cerâmicos apresentaram melhor desempenho térmico (SANSÃO; AGUILAR; MARQUES, 2012). Assim, o sistema construtivo de alvenaria com blocos de concreto apresenta limitações em relação ao seu desempenho térmico, e novas pesquisas são necessárias em relação ao projeto da edificação com esse sistema de vedação, uso do revestimento produzido com argamassa à base de cimento, utilização de pintura, novas possibilidades de geometria para o componente ou otimização das propriedades do material.

O desempenho térmico do edifício é uma das exigências relativas à habitabilidade, presente no conjunto normativo da NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013), e definido pelas trocas de calor resultantes da interação entre os materiais construtivos que compõem as

superfícies externas do edifício e a radiação global e difusa. As propriedades termofísicas dos materiais de construção determinam o comportamento térmico do edifício quanto à admissão, transferência, armazenamento e emissão de calor.

Dentre os materiais isolantes disponíveis, a lã de rocha apresenta-se como uma alternativa para a otimização das propriedades termofísicas dos materiais cimentícios. A lã de rocha é um material desenvolvido para o setor da construção civil, sendo utilizado tanto para o isolamento térmico quanto acústico. É produzida a partir de matérias-primas abundantes na natureza (rocha basáltica e outros minerais) e recicladas (escória metalúrgica). Após sua fusão a 1.500 °C, esses minerais são transformados em finas fibras por centrifugação. Alguns estudos têm sido desenvolvidos com o uso em matrizes cimentícias (CHENG; WEI-TING; HUANG, 2011; WEI-TING et al., 2012, 2013; KUBILIUTE; KAMINSKAS; KASLAUSKAITE, 2018). Entretanto, esses trabalhos não abordam a avaliação de propriedades térmicas ou aplicação em componentes da construção, visando ao desempenho térmico.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para avaliar o desempenho térmico das alvenarias compostas pelos blocos de concreto contendo lã de rocha, sem e com argamassa de revestimento e pintura, foi elaborado um programa experimental composto pela produção dos blocos de concreto contendo lã de rocha, realização dos ensaios de transferência de calor pelas alvenarias construídas e obtenção de duas propriedades térmicas dos blocos.

A LÃ DE ROCHA UTILIZADA NOS BLOCOS DE CONCRETO

Para desenvolver os blocos de concreto contendo lã de rocha, foi utilizada a tecnologia da própria fábrica de blocos, dos materiais agregados e aglomerante, para a dosagem, produção e cura dos blocos. Pelos autores desta pesquisa, foi fornecido o traço atualizado com as porcentagens de substituição da areia por lã de rocha, de modo que foram construídos quatro painéis de blocos de concreto. O primeiro painel não possuiu adição de lã de rocha, ou seja: 0% de adição de lã de rocha, denominado 0Lã; o segundo continha 10% de adição de lã de rocha, denominado 10Lã; o terceiro continha 20% de adição de lã de rocha, denominado 20Lã; e o quarto continha 30% de adição de lã de rocha, denominado 30Lã. Segundo o fabricante, a lã de rocha em super-flocos, que foi utilizada para a construção dos blocos, em substituição da areia, são flocos amorfos constituídos por fibras em lã de rocha com diâmetro médio entre 6 e 7 micra. São isentos de resinas e materiais orgânicos, além de serem repelentes à água e possuírem densidade aproximada de 60kg/m³.

A CÂMARA DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR E SEU FUNCIONAMENTO

Para a análise de transferência de calor através dos blocos de concreto produzidos, foi projetada e fabricada uma câmara de transferência de calor hermeticamente fechada, sem fuga de energia, com dimensões: (1,34x0,67x0,85) m, composta por 1 (uma) camada externa de MDF (*Medium Density Fiberboard*) espessura

20mm e acabamento cru na superfície; 1 (uma) camada intermediária em papel de alumínio; e 1 (uma) camada interna de poliestireno expandido (EPS) espessura 30mm (Figura 1).

FIGURA 1 – Câmara térmica projetada e produzida para a realização dos ensaios.

Fonte: Acervo pessoal da autora Camila Rocha de Souza (2017).

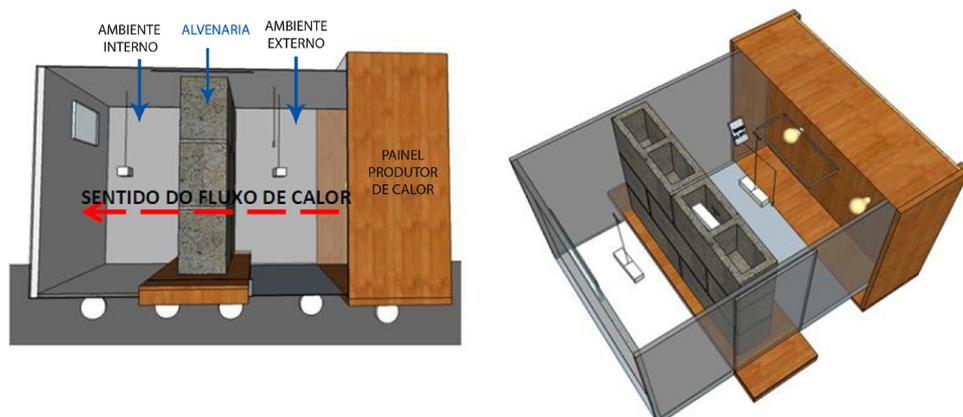


Os painéis de alvenaria em blocos de concreto foram introduzidos (individualmente) e retirados da câmara de transferência de calor através de uma porta de giro e uma base móvel, com sistemas controlados de vedação. A base móvel foi projetada para oferecer estabilidade mecânica, a fim de suportar o peso de cada painel de alvenaria, e contou com a instalação de rodízios de alta capacidade para oferecer mobilidade pelo piso do laboratório.

Para cada painel de alvenaria, foi realizado um ensaio. Assim, cada amostra foi introduzida na câmara de transferência de calor, separadamente. O sentido de transferência do calor aconteceu do setor que produziu o calor para o setor receptor, tendo a alvenaria como obstáculo para a passagem do calor. O setor produtor de calor seria o equivalente ao ambiente externo de um edifício, e o setor oposto à alvenaria seria o equivalente ao ambiente interno do mesmo, conforme pode ser observado na Figura 2.

FIGURA 2 – Demonstração dos elementos e subdivisão do interior da câmara de transferência de calor.

Fonte: Acervo pessoal da autora Camila Rocha de Souza (2017).



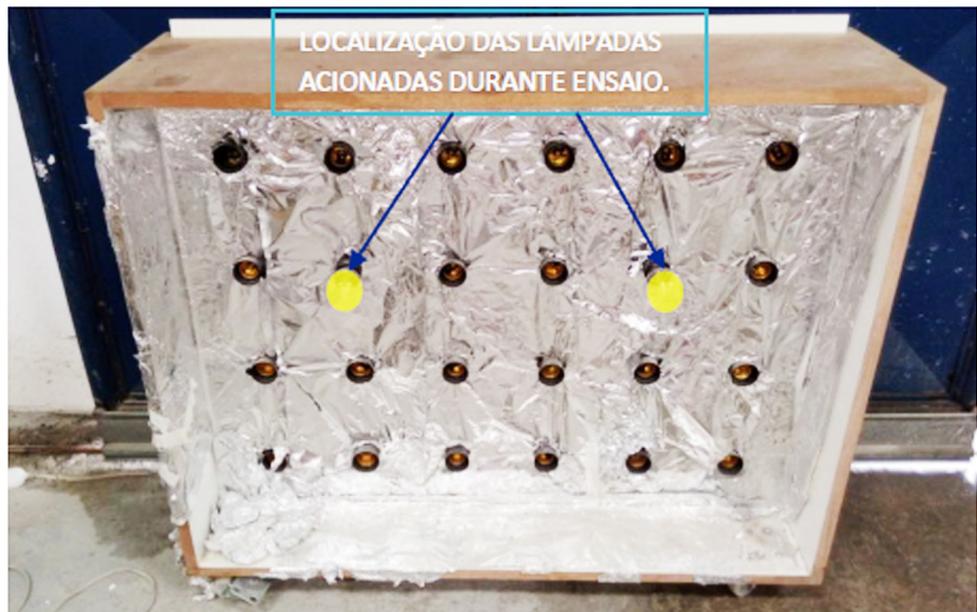
O FUNCIONAMENTO DA FONTE DE CALOR

Para induzir a transferência de calor através de cada alvenaria a ser ensaiada, seria preciso criar dois ambientes distintos em potencial de energia e temperatura. Já que cada alvenaria a ser ensaiada ficaria posicionada no centro da câmara, equidistante às extremidades da mesma, em uma das extremidades da câmara, foi acoplado 1 (um) painel contendo lâmpadas incandescentes. O painel com as lâmpadas funcionou como fonte de calor.

O painel de fonte de calor também possuiu sua estrutura em MDF de 20mm de espessura externamente e nas suas laterais. Todas as partes também foram devidamente vedadas com papel alumínio na camada intermediária e 1 (uma) camada de EPS espessura de 30mm, na camada interna. A fonte de calor foi projetada e executada para comportar até vinte e quatro lâmpadas, conforme demonstrado na *Figura 3*. Porém, para simular temperaturas do ar equivalentes ao que acontece na cidade de Salvador, Bahia, 2 (duas) lâmpadas incandescentes foram suficientes para alcançar a temperatura do ar máxima de 40,0°C. Esse resultado foi obtido nos ensaios realizados para a calibração do sistema, que se mostrou hermeticamente fechado, sem fuga de energia.

FIGURA 3 – Painel de lâmpadas incandescente.

Fonte: Acervo pessoal da autora Camila Rocha de Souza (2017).



OS ENSAIOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Os ensaios de transferência de calor, tendo como aparato a câmara de transferência de calor, foram elaborados para possibilitar a análise do comportamento termo-energético das alvenarias em blocos de concreto. Os ensaios compreenderam a transferência de calor de um setor de maior energia térmica para o outro de menor energia térmica da câmara, tendo uma alvenaria posicionada no centro da mesma, funcionando como obstáculo para a passagem do calor de um setor para o outro. Para apoiar os ensaios, as variáveis atraso térmico (ω) e amortecimento térmico (μ) foram levadas em consideração. Através da

análise comparativa dos resultados obtidos, pelos ensaios, foi possível perceber a influência da lã de rocha incorporada aos blocos de concreto em diferentes porcentagens, bem como da argamassa de revestimento (reboco) e da pintura externa na cor clara. A *Figura 4* demonstra a câmara de transferência de calor com uma das alvenarias em estado original, sem a camada de argamassa de revestimento, em posição de ensaio, e a câmara de transferência de calor hermeticamente fechada, em realização de ensaio.



FIGURA 4 – Demonstração da câmara de transferência de calor, aberta e fechada, em operação no laboratório.

Fonte: Acervo pessoal da autora Camila Rocha de Souza (2017).

MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DO AMORTECIMENTO (μ) E ATRASO TÉRMICO (ϕ)

Conforme Roriz (2012), a relação entre as amplitudes térmicas internas (A_i) e externas (A_e) é chamada de amortecimento (μ), e foi calculada através da *Equação 1*:

$$\mu = 1 - \frac{A_i}{A_e} \quad \text{Equação 1}$$

Já a amplitude térmica foi calculada através da *Equação 2*:

$$A = T_{\max} - T_{\min} \quad \text{Equação 2}$$

O atraso térmico é uma propriedade física medida em horas. Foi a grandeza norteadora para avaliar o desempenho térmico das alvenarias da pesquisa, com a incorporação de lã de rocha em diferentes porcentagens. A premissa do atraso térmico para a arquitetura está condicionada à transmissão da onda de calor de um ambiente para o outro, tendo como elemento de transição a superfície externa do edifício. Pode-se considerar que quando a temperatura do ar (externo ao edifício) for máxima, a temperatura do ar (interno ao edifício) atingirá seu valor máximo um tempo depois. O atraso térmico (ϕ) foi detectado durante as medições realizadas na câmara de transferência de calor. Cada alvenaria foi ensaiada separadamente, e cada uma funcionou como único obstáculo

para a passagem do calor de um ambiente para o outro da câmara de transferência de calor. Os atrasos térmicos foram comparados a partir de gráficos gerados com as sequências dos dados obtidos nas medições.

AS AMOSTRAS

Foram construídos quatro painéis de alvenaria, conforme pode ser visto na *Figura 5*, um para cada tipo de bloco de concreto:

- **P1:** blocos de concreto com 0% de incorporação de lã de rocha (de referência), ou 0Lã;
- **P2:** blocos de concreto com 10% de incorporação de lã de rocha, ou 10Lã;
- **P3:** blocos de concreto com 20% de incorporação de lã de rocha, ou 20Lã;
- **P4:** blocos de concreto com 30% de incorporação de lã de rocha, ou 30Lã.

Cada painel (P1, P2, P3 e P4) foi construído com as mesmas dimensões: (0,80x0,61x0,14) m. Considerando as dimensões de largura e altura, e que cada alvenaria foi composta por duas superfícies, a externa (representativa da fachada do edifício, funcionando como superfície de absorção do calor) e a interna (representativa do interior de um ambiente do edifício, funcionando como superfície de emissão do calor para o interior do ambiente), pode-se considerar que cada alvenaria da pesquisa possuiu duas superfícies de mesma área, 0,50m², aproximadamente.



FIGURA 5 – Painéis em alvenaria em blocos de concreto utilizados na pesquisa.

Fonte: Acervo pessoal da autora Camila Rocha de Souza (2017).

SISTEMA DE OBTENÇÃO DE DADOS

Para cada painel de alvenaria, foi realizado um ensaio de transferência de calor dentro da câmara hermeticamente fechada, com medições de temperatura do ar durante 24 horas. A fonte de calor (o painel com as lâmpadas incandescentes) permaneceu ligada durante as primeiras 4,5 horas apenas, pois, durante a calibração do sistema, esse foi o tempo encontrado para que a fonte de calor elevasse a temperatura do ar do seu setor, considerado o setor representativo do ambiente externo ao edifício, até 40,0°C. Essa temperatura máxima do ar, considerada na presente pesquisa, teve como referência a temperatura máxima do ar encontrada por Souza (2010), em dias típicos do verão na escala microclimática da cidade de Salvador, Bahia.

O painel de alvenaria foi inserido no interior da câmara de transferência de calor, dividindo-a em dois ambientes ou setores: o setor exposto à fonte de calor, denominado de ambiente externo; e o setor oposto ao painel de alvenaria, denominado de ambiente interno. Com a presença da fonte de calor no setor do ambiente externo, a transferência do calor foi induzida pela diferença de energia térmica existente entre os dois setores da câmara, possibilitando a transferência do calor de um setor para o outro. O sentido do calor obedeceu à seguinte ordem: originado no setor 1 (ambiente externo), transpassou pelo setor 2 (câmaras de ar dos blocos de concreto da alvenaria) e, por fim, foi emitido ao setor 3 (ambiente interno).

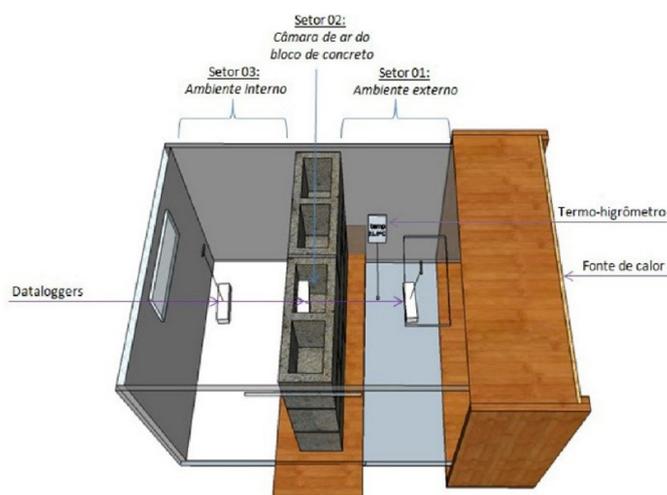
Nos centros dos setores 1 e 3, foram posicionados termohigrômetros com *data loggers*, para medições das temperaturas do ar nesses setores. As medições ocorreram a cada hora. Para aprimorar a investigação, um terceiro termohigrômetro com *data logger* foi inserido no interior de uma das colunas de câmara de ar dos blocos de concreto, formadas pelo empilhamento dos mesmos.

A Figura 6 demonstra os três setores da câmara de transferência de calor e a arrumação dos equipamentos utilizados:

- Setor 1: ambiente externo a um edifício hipotético;
- Setor 2: câmara de ar dos blocos de concreto;
- Setor 3: ambiente interno ao edifício hipotético, mencionado acima.

FIGURA 6 – Perspectiva esquemática do interior da câmara de transferência de calor.

Fonte: Acervo pessoal da autora Camila Rocha de Souza (2017).



ETAPAS DE ENSAIO DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Com o objetivo de analisar a influência do acréscimo da argamassa de revestimento no desempenho térmico do sistema construtivo de alvenaria em blocos com concreto, após os ensaios com as alvenarias não rebocadas, todas foram rebocadas e submetidas a novos ensaios de transferência de calor. Para o reboco das alvenarias, foi utilizada argamassa industrializada para reboco da Concremassa®, indicada para áreas internas e externas.

A *Figura 7* demonstra os painéis ensaiados de alvenaria com blocos de concreto após a aplicação da argamassa de revestimento, sem a pintura na cor clara.

Posteriormente aos ensaios com os painéis rebocados, para análise da influência da pintura externa no desempenho térmico do sistema construtivo, a superfície externa do painel de alvenaria de referência, com OLã, foi pintada com tinta acrílica da Suvinil®, acabamento fosco, indicada para exteriores, na cor branco neve, e foi realizado o último ensaio. A *Figura 8* demonstra o painel OLã rebocado e pintado.



FIGURA 7 – Demonstração dos painéis ensaiados de alvenaria de bloco de concreto após acréscimo da argamassa de revestimento.

Fonte: Acervo pessoal da autora Camila Rocha de Souza (2017).



FIGURA 8 – Painel 0%Lã rebocado e pintado na cor clara.

Fonte: Acervo pessoal da autora Camila Rocha de Souza (2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após os ensaios de transferência de calor pelas amostras de alvenaria com blocos de concreto, foi possível verificar a influência da incorporação da lã de rocha em diferentes percentuais, bem como do acréscimo da camada de argamassa de revestimento; e, ainda, da pintura em branco neve na superfície da argamassa da alvenaria OLã.

Para análise da influência da lã de rocha no desempenho térmico das alvenarias, foram utilizados como referência os resultados obtidos nos ensaios de transferência de calor com cada alvenaria em seus estados originais, não rebocadas.

O que se observou foi que quanto maior o percentual de lã de rocha incorporada ao concreto, em substituição à areia, maior a resistência térmica que o mesmo ofereceu para o calor ser transferido de um setor para o outro da

câmara. Tal fato se deve à lã de rocha possuir características isolantes, sobretudo por interferir fisicamente na matriz do concreto, alterando seu empacotamento. A presença da lã de rocha no concreto denota um aumento do número de vazios que funcionam como microcâmaras de ar.

Quanto ao atraso térmico (ϕ), conforme o aumento do teor de lã de rocha incorporada ao concreto, houve um pequeno incremento na condição do tempo para o calor ser transferido de um setor para o outro.

Para análise da influência do revestimento argamassado (reboco) no desempenho térmico das alvenarias, foram avaliados os dados obtidos das alvenarias rebocadas, em comparação aos valores das alvenarias não rebocadas. A argamassa de revestimento contribuiu de maneira significativa para a melhoria do desempenho térmico das alvenarias, em decorrência de ter contribuído favoravelmente para elevar a condição de resistência térmica para as mesmas. Em consequência à elevação da condição de resistência térmica com as alvenarias rebocadas, percebendo-se uma dilatação no tempo para acontecer a transferência do calor de um setor para o outro, expressando o aumento do atraso térmico. O aumento do atraso térmico sugere uma capacidade de potencialização para a condição de isolar termicamente ambientes internos. Esses fenômenos físicos estão relacionados com o aumento de massa térmica das alvenarias, a partir da iniciativa de se acrescentar uma camada de reboco nas mesmas.

Quando a alvenaria rebocada de referência teve sua superfície externa pintada com a cor branco neve, cor equivalente a absorver apenas 20% de calor na sua superfície exposta à radiação ($\alpha=0,2$), nos ensaios da pesquisa, a alvenaria apresentou uma redução de, aproximadamente, 75% da capacidade de transferir o calor de um setor para o outro, em comparação ao seu estado inicial, enquanto a alvenaria estava crua, sem reboco. E na alvenaria apenas rebocada, sem a pintura, a redução foi de aproximadamente 60%, em comparação ao seu estado inicial, enquanto a alvenaria estava crua. Esses resultados refletiram na redução de ganhos de calor do setor representativo do ambiente interno da câmara de transferência de calor. Portanto, a pintura exerceu significativa influência para a melhoria do desempenho térmico da alvenaria.

Para melhor análise comparativa do desempenho térmico das alvenarias, bem como para a análise da influência do teor de lã de rocha incorporada, do reboco e da pintura, foram realizados os ensaios de transferência de calor, cujo resultado e análise são apresentados a seguir.

ENSAIOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR – AMORTECIMENTO (M) E ATRASO TÉRMICO (ϕ)

A *Figura 9* apresenta os resultados de desempenho térmico das alvenarias enquanto estavam sem reboco (resultados representados pela cor laranja nos gráficos) e das alvenarias rebocadas (resultados representados pela cor azul nos gráficos). A *Figura 9* apresenta a sequência onde são demonstrados os resultados comparativos dos ensaios da alvenaria com 0Lã rebocada sem pintura

e rebocada com pintura, em branco, na superfície externa e os resultados comparativos dos ensaios da alvenaria com 0,10, 20 e 30Lã rebocada e não rebocada. Todos os gráficos correlacionam os dados obtidos de temperatura do ar, em °C (no eixo das ordenadas), em função do tempo, em horas (no eixo das abcissas). As alvenarias rebocadas apresentaram melhores desempenhos térmicos, quando comparadas às não rebocadas. Mesmo que apresentando pequenas diferenças, percebe-se que quanto maior o teor de lã de rocha incorporado, melhor o desempenho térmico das alvenarias.

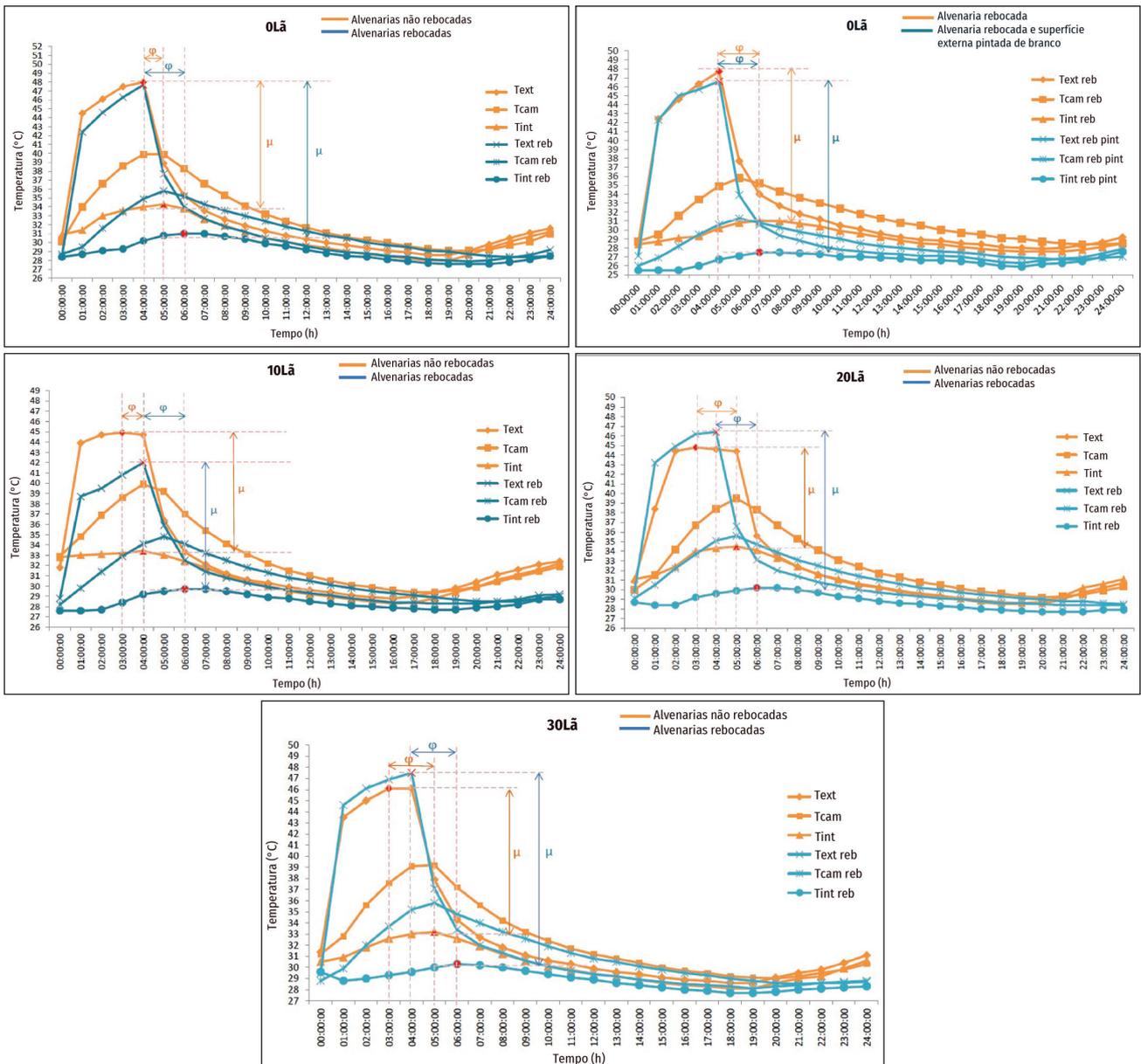


FIGURA 9 – Gráficos em seqüência: comportamento termo-energético das alvenarias 0% lã de rocha rebocada: não pintada e pintada de branco; 0% lã de rocha rebocada e não rebocada; 10% lã de rocha rebocada e não rebocada; 20% lã de rocha rebocada e não rebocada; 30% lã de rocha rebocada e não rebocada.

Fonte: Elaborada pela autora Camila Rocha de Souza (2017).

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos através dos ensaios das alvenarias com as equações de amortecimento térmico e amplitudes térmicas, mencionadas anteriormente. Percebe-se que os maiores valores de amortecimento térmico (μ) encontrados entre as alvenarias não pintadas, tanto para as não rebocadas quanto para as rebocadas, foram os referentes a 30Lã, cujos valores foram, respectivamente, 71% e 87%. Tal fato pode revelar que a lâ de rocha, quando incorporada ao concreto, tende a melhorar o desempenho térmico da alvenaria.

Nos ensaios de transferência de calor, para as alvenarias não rebocadas, os atrasos térmicos (ϕ) obtidos foram maiores para 20Lã e 30Lã, quando comparados aos ensaios com 0Lã e 10Lã. Tal fato pode estar relacionado com a capacidade reduzida de transmitir calor, conforme maior teor de lâ de rocha incorporada.

Pode ser ainda evidenciado o valor do amortecimento térmico de 90% da alvenaria 0Lã rebocada e com a superfície externa pintada na cor branca, que foi o maior registrado diante de todos os ensaios de transferência de calor realizados com as alvenarias. Isso demonstra a significativa influência da pintura para impedir a absorção de energia, porém fica evidenciada a propriedade que a alvenaria 0Lã possui em transferir mais energia térmica para o ambiente interno.

TABELA 1 – Amplitudes térmicas: interna (A_i) e externa (A_e), amortecimento térmico (μ) e atraso térmico (ϕ) das alvenarias ensaiadas.

Alvenarias	Temperatura do ar (externo), em °C		Ae	Temperatura do ar (interno), em °C		Ai	μ , em %	Tempo, em horas
	T(máx.)	T(mín.)		T(máx.)	T(mín.)			
0Lã	48	28,6	19,4	34,3	28	6,3	68	1
0Lã reb.	47,7	27,9	19,8	31	27,6	3,4	83	2
0Lã reb pint	46,6	26,3	20,3	27,6	25,5	2,1	90	2
10Lã	44,9	28,8	16,1	33,4	28,3	5,1	68	1
10Lã reb.	42	28,3	13,7	29,7	27,6	2,1	85	2
20Lã	44,8	28,5	16,3	34,5	28,6	5,9	64	2
20Lã reb.	46,4	28,4	18	30,2	27,7	2,5	86	2
30Lã	46,1	28,6	17,5	33,2	28,1	5,1	71	2
30Lã reb.	47,5	28,1	19,4	30,3	27,7	2,6	87	2

Fonte: Elaborada pela autora Camila (2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, foram avaliados o desempenho termo-energético de alvenarias em blocos de concreto produzidos com incorporação de lã de rocha, em substituição à areia, em diferentes percentuais para cada alvenaria e, ainda, com as alvenarias sob a influência do acréscimo do reboco e pintura externa na cor branca. O método adotado permitiu correlacionar essas intervenções no bloco e nas vedações aos impactos causados sobre o desempenho térmico do sistema construtivo.

A adição da lã de rocha provocou uma alteração nas propriedades físicas. Devido ao aumento da porosidade da matriz cimentícia, essas alterações não foram suficientes para causar maiores alterações nas propriedades térmicas, o que pode ser justificado pelo pequeno teor de lã de rocha incorporado em relação aos demais componentes. No entanto, apesar de apresentar pequenas diferenças, foi possível perceber que as propriedades térmicas do componente tendem a valores otimizados, quando incorporadas à lã de rocha, o que se comprovou pela alteração ocorrida nos valores de amortecimento e atraso térmicos das alvenarias.

Quanto à influência do acréscimo da argamassa de revestimento às alvenarias, percebeu-se significativa melhoria nos desempenhos térmicos de todas elas, quando comparadas aos seus desempenhos anteriores, sem os rebocos. Isso ocorreu devido ao aumento da massa térmica, refletindo na otimização das propriedades térmicas, intrinsecamente relacionadas ao aumento da resistência térmica que favoreceu menos ganhos de calor pelas vedações. O aumento da resistência térmica de uma vedação externa de um edifício pode significar melhores condições construtivas, para proporcionar conforto térmico aos usuários do edifício. As mesmas condições de favorecimento ao conforto térmico puderam ser notadas quando a pintura em branco foi adicionada à alvenaria rebocada. Na presente pesquisa, considerando a alvenaria sem adição de lã de rocha, a redução na transferência do calor foi de, aproximadamente, 75%, em comparação à mesma alvenaria sem reboco e de, aproximadamente, 60%, em relação à alvenaria rebocada e sem a pintura. Este estudo comparativo refletiu a redução de ganhos de calor para o ambiente interno da câmara. A pintura em branco da superfície externa da alvenaria promoveu melhorias no desempenho térmico da mesma.

Os resultados desta pesquisa indicam que, para se obter melhores condições termo-energéticas para os edifícios, em clima tropical quente e úmido, faz-se necessário tornar a vedação externa dos mesmos menos favorável à transmissão do calor, que pode ser através da incorporação de lã de rocha, por exemplo, por ser um elemento que favorece o aumento da resistência térmica das alvenarias. Este estudo tem uma especial importância para a área da arquitetura, uma vez que a especificação dos materiais é de responsabilidade do arquiteto. A busca por materiais com melhor desempenho térmico não só favorece o conforto térmico, mas também reduz a necessidade de uso de

energia elétrica para resfriamento de ambientes. Embora a pesquisa não tenha realizado os ensaios, as alvenarias com diferentes percentuais de incorporação de lã de rocha, se rebocadas e pintadas de branco, tenderão a aumentar ainda mais a resistência térmica das vedações externas das edificações. Assim, a pesquisa recomenda, para estudos futuros, a avaliação do comportamento termo-energético de alvenarias, com incorporação de lã de rocha em diferentes percentuais, rebocadas e pintadas de branco.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Construção e Estruturas da Escola Politécnica, ao Laboratório de Conforto Ambiental da Faculdade de Arquitetura, da Universidade Federal da Bahia, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (Fapesb) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa.

NOTA

1. Artigo elaborado a partir da dissertação de C. R. SOUZA, intitulada "Avaliação do desempenho térmico de vedações em blocos de concreto produzidos com lã de rocha". Universidade Federal da Bahia, 2017.

Apoio/Support: Demanda social Capes.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15575-4: Edificações habitacionais Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas*. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- CHENG, A.; WEI-TING, L.; HUANG, R. Application of rock wool waste in cement-based composites. *Materials and Design*, v. 32, n. 2, p. 636-642, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.08.014>
- KUBILIUTE, R.; KAMINSKAS, R.; KASLAUSKAITE, A. Mineral wool production waste as an additive for Portland cement. *Cement and Concrete Composites*, v. 88, p. 130-138, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.02.003>
- RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. *Projeto de edifícios de alvenaria estrutural*. São Paulo: Pini, 2003.
- RORIZ, M. *Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro*. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2012. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Proposta_Revisao_Zoneamento_Bioclimatico.pdf. Acesso em: 10 jun. 2019.
- SACHT, H. M.; ROSSIGNOLO, J. A. Habitações térreas e multipavimentos de interesse social: avaliação de desempenho térmico para tipologias com vedações em alvenaria de blocos cerâmicos e de concreto. *PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção*, v. 1, n. 4, p. 1-18, 2009.
- SALVADOR FILHO, J. A. A. *Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas*. 2007. 246 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SANSÃO, J. H.; AGUILAR, M. T. P.; MARQUES, A. C. *Análise ambiental de alvenarias em blocos: uma discussão baseada na avaliação do ciclo de vida e no desempenho térmico de envoltórias*. Juiz de Fora: ENTAC, 2012.

SOUZA, S. H. M. *Avaliação do desempenho térmico nos microclimas das praças: Piedade e Visconde de Cayrú, Salvador/BA*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

WEI-TING, L. W. et al. Rock wool wastes as a supplementary cementitious material replacement in cement-based composites. *Computers and Concrete*, v. 11, n. 2, p. 401-411, 2012.

WEI-TING, L. W. et al. Improved microstructure of cement-based composites through the addition of rock wool particles. *Materials Characterization*, v. 84, p. 1-9, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2013.06.020>

CAMILA ROCHA DE SOUZA

 0000-0002-5492-5645 | Universidade Federal da Bahia | Escola Politécnica | Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Ambiental e Urbana | Salvador, BA, Brasil.

SANDRA HELENA MIRANDA DE SOUZA

 0000-0002-7295-4335 | Universidade Federal da Bahia | Faculdade de Arquitetura | Núcleo de Tecnologia, Projeto e Planejamento | Salvador, BA, Brasil.

FRANCISCO GABRIEL SANTOS SILVA

 0000-0003-0033-8127 | Universidade Federal da Bahia | Escola Politécnica | Departamento de Construção e Estruturas | Salvador, BA, Brasil.

JARDEL PEREIRA GONÇALVES

 0000-0003-3484-3869 | Universidade Federal da Bahia | Escola Politécnica | Departamento de Construção e Estruturas | Salvador, BA, Brasil | Correspondência para/Correspondence to: J. P. GONÇALVES | E-mail: jardelpg@ufba.br

COLABORAÇÃO

C. R. SOUZA foi responsável pela elaboração do artigo, seleção e análise dos dados, formulação da discussão e conclusão; e revisões. S. H. M. SOUZA foi responsável pela seleção de conteúdo, adequação do artigo para submissão e revisões. F. G. S. SILVA foi responsável pela análise dos dados, da formulação da discussão e conclusão. J. P. GONÇALVES foi responsável pela análise dos dados e da estruturação do artigo, formulação da discussão e da conclusão e revisões.

COMO CITAR ESTE ARTIGO/HOW TO CITE THIS ARTICLE

SOUZA, C. R. et al. Avaliação do desempenho térmico de alvenarias em blocos de concreto produzidos com lã de rocha. *Oculum Ensaios*, v. 20, e235036, 2023. <https://doi.org/10.24220/2318-0919v20e2023a5036>

RECEBIDO EM

20/7/2020

VERSÃO FINAL EM

14/3/2022

APROVADO EM

28/3/2022

EDITOR RESPONSÁVEL

Jonathas Magalhães e
Renata Baesso Pereira