



XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE ISOLANTE TÉRMICA DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA¹

PASSOS, Paulo Martins dos (1); CARASEK, Helena(2) ; AMARAL, Gabriel Martins (3)

(1) UFG, e-mail: paulompengc@gmail.com; (2) UFG, e-mail:vhcarasek@gmail.com; (3) UFG, e-mail: fecgabriel@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho enquadra-se em um contexto atual de preocupação com o desenvolvimento sustentável global da construção civil e com o desempenho das edificações. São propostos revestimentos de argamassa que aliam o isolamento térmico e a utilização de resíduos para aplicação em paredes de concreto pré-moldado de habitações de interesse social. Assim, são estudados três traços de argamassa com resíduos de EPS e resíduos de lã de rocha, lã de vidro e vermiculita, em comparação com uma argamassa convencional de referência. A comprovação do desempenho adequado dos sistemas propostos - painel pré-moldado revestido com argamassa isolante - é feita por meio de um programa experimental e de cálculos dos níveis mínimos de desempenho térmico pela norma ABNT NBR 15575:2013. No programa experimental foram realizados ensaios das argamassas (estado fresco, propriedades físicas e mecânicas no estado endurecido e durabilidade) e a avaliação do painel revestido (aderência, permeabilidade à água e fluxo de calor com auxílio de termovisor infravermelho). A partir dos ensaios e análises realizadas conclui-se que as argamassas com resíduos de EPS e resíduos de lã de vidro, lã de rocha e vermiculita, apresentam grande potencial para utilização como revestimentos isolantes térmicos, contribuindo em vários aspectos para a sustentabilidade na construção civil.

Palavras-chave: Argamassa de revestimento. Desempenho térmico. Resíduos. Materiais reciclados.

ABSTRACT

This paper is included in an actual context of concerns about building's sustainable development and controlling performance standards. Are presented rendering mortars featured by thermal insulation and waste incorporation for usage in precast concrete wall to habitation of social interest. Therefore, are studied three mortars proportions with waste of EPS and waste of rock wool, glass wool and vermiculite, in comparison to a conventional mortar proportion. The evaluation of proposed systems' performance (precast concrete wall with insulating mortar render) is made by an experimental program and calculation of minimum levels of thermal performance by ABNT NBR 15575:2013. The experimental program consisted in evaluation of mortars (fresh state, physical and mechanical properties in hardened state and durability) and tests of precast concrete wall plastered with mortar (bond strength, water permeability and thermal flux assisted by infrared thermal imaging). As a result from experiments and analysis, mortars with waste of EPS and waste of rock wool, glass wool and vermiculite have a great potential for usage as rendering thermal insulation, contributing to the sustainability of buildings.

¹ 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.

Keywords: *Rendering mortar. Thermal performance. Waste. Recycled materials.*

1 INTRODUÇÃO

A crise energética vivenciada pelo Brasil em meados dos anos 2000 propiciou a discussão e implementação de políticas públicas sobre a conservação e uso racional de energia. A Lei nº 10.295 e o Decreto Lei nº 4.059 possibilitaram a ampliação das discussões de níveis mínimos de eficiência energética para edificações (BRASIL, 2001).

O conceito de desempenho das edificações também ganhou importância nos últimos anos com a publicação da Norma de Desempenho (ABNT NBR 15575:2013). A envoltória das edificações, ou seja, o revestimento das vedações externas influencia diretamente a eficiência energética da habitação. Por outro lado, o desempenho térmico do sistema de vedações verticais condiciona a habitabilidade da edificação por se relacionar com o conforto térmico proporcionado aos usuários (APOLÔNIO et al., 2010).

Os materiais e componentes dos sistemas de vedação comportam-se termicamente em função das características térmicas que possuem. A condutividade térmica, que é função da densidade do material, indica a capacidade em conduzir calor, por outro lado a resistência térmica é uma propriedade ligada à resistência à passagem de calor. Estas e outras propriedades fornecem informações a serem utilizadas ao se considerar desempenho térmico das edificações e o conforto térmico de usuários. Estudos indicam que revestimentos de argamassa com espessura em torno de 35% do sistema de vedação podem ser responsáveis por 30% do isolamento térmico (CARASEK, 2010).

Ao se falar de projetos que atendam o desempenho térmico é interessante notar o caso de projetos arquitetônicos padronizados em Habitações de Interesse Social (HIS), que são repetidos em grande escala em todo território nacional. Projetar e construir desconsiderando a diversidade de zonas bioclimáticas e de condições ambientais origina edificações limitadas no atendimento aos requisitos de desempenho térmico (DANTAS; BARBIRATO, 2015).

Não obstante, a sustentabilidade é outro ponto que tem permeado as diretrizes de desenvolvimento. A incorporação de resíduos na construção das edificações ajuda a mitigar parte dos impactos ambientais causados. O reaproveitamento de resíduos maximiza a utilização da energia incorporada na obtenção de um material: extração, manufatura e infraestrutura de transporte.

O poliestireno expandido (EPS), por exemplo, consome 88,6 MJ por quilograma produzido (HAMMOND; JONES 2011), aplicado em embalagens tem sua energia incorporada subutilizada. Suas propriedades isolantes advêm de seu volume celular, composto por 98% de ar e 2% de poliestireno (ABRAPEX, 2006). Outros materiais subutilizados são os resíduos de lã de rocha e de lã de vidro (ambas fibras cerâmicas), além de vermiculita expandida (minério com baixa massa específica), os quais são utilizados como isolantes

térmicos. Estes resíduos geralmente são destinados à disposição final em aterros ou se acumulam em depósitos de indústrias (MEDEIROS et al., 2014).

Neste contexto de preocupações, o presente trabalho visa estudar as propriedades de revestimentos de argamassa com isolamento térmico significativo, desenvolvido com a incorporação de resíduos de EPS, lã de rocha, lã de vidro e vermiculita expandida. O desenvolvimento dessa argamassa tem como objetivo oferecer uma alternativa de revestimento de sistemas verticais de vedação externa (SVVE) que possibilite a otimização do desempenho térmico de habitações de interesse social que utilizam o sistema executivo de paredes de concreto pré-moldada.

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

A Figura 1 apresenta um fluxograma que detalha o programa experimental para a avaliação das argamassas e revestimentos.

Figura 1 – Fluxograma do programa experimental



Fonte: Os autores

A avaliação da argamassa com incorporação de resíduos de EPS ou lã de rocha/lã de vidro/vermiculita (LR/LV/V) foi baseada em estudo de quatro

proporcionamentos de argamassas, sendo um de referência e os outros três com diferentes teores de resíduos e aditivo (Tabela 1).

Tabela 1 – Proporcionamento (traço) das argamassas, em volume

Traço	Cimento	Cal	Areia	EPS	LR/LV/V	Aditivo
REF	1	1,0	6,0	-	-	-
E80	1	0,5	1,0	5,0	-	0,13
E90	1	0,5	0,5	5,5	-	0,20
E90L	1	0,5	0,5	5,5	0,50	0,20

Legenda: REF: Traço Referência – argamassa convencional de revestimento externo; E80: Traço com 83,3% de substituição de areia natural por EPS triturado; E90: Traço com 91,7% de substituição de areia natural por EPS; E90L: Traço E90 com adição de Resíduos de lã de rocha/lã de vidro/vermiculita.

Fonte: Os autores

2.1 Materiais

Para o preparo das argamassas foram utilizados os seguintes materiais:

- Aglomerantes: foram utilizados cimento CP V - ARI e cal hidratada CH-I.
- Agregado: o agregado miúdo utilizado foi areia média quartzosa, lavada, natural. A caracterização da areia é apresentada na Tabela 2 e na Figura 2.

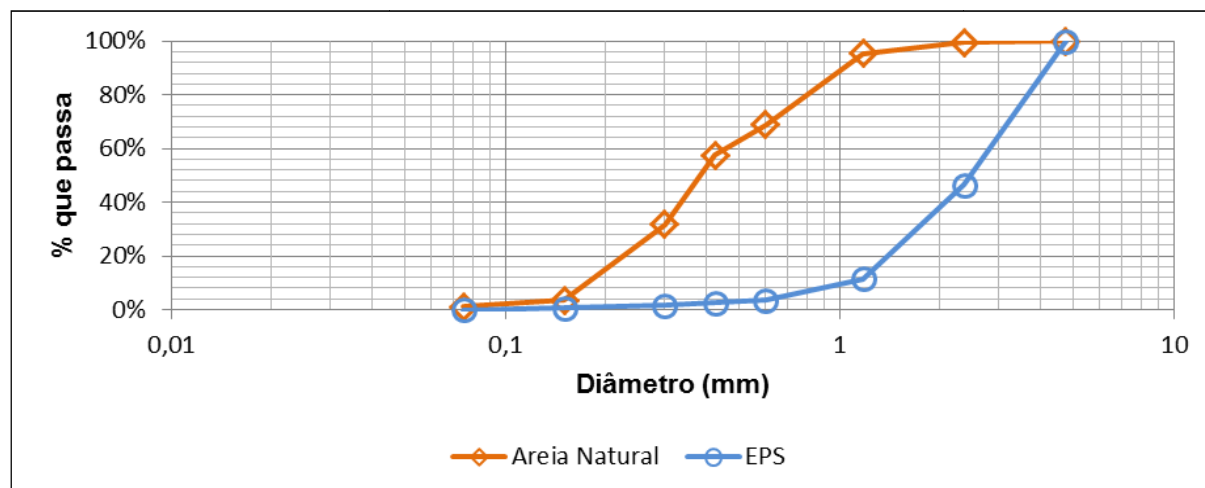
Tabela 2 – Caracterização da areia (ABNT NBR NM 248:2003/ NM 46:2003)

Módulo de finura	Dimensão máxima característica	Massa específica	Teor de materiais pulverulentos
2,01	1,18 mm	2,62 g/cm ³	1,0%

Fonte: Os autores

- Resíduo de EPS: o resíduo de EPS foi obtido de material proveniente de descarte. Foram utilizadas peças de EPS de alta densidade. Os resíduos de EPS passaram por inspeção visual e posterior trituração (Figura 3). O resíduo triturado de EPS apresentou massa específica aparente de 0,41 kg/dm³ (determinado pela ABNT NM 45:2006). A distribuição granulométrica é apresentada na Figura 2.

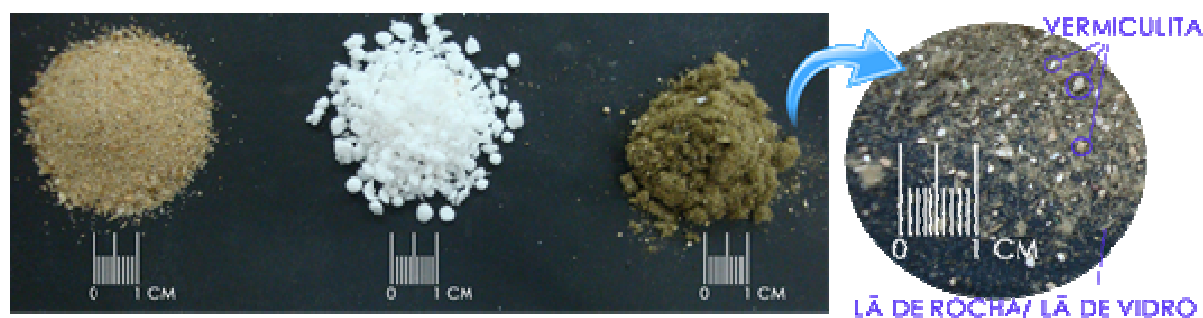
Figura 2 – distribuição granulométrica da areia natural e dos resíduos de EPS



Fonte: Os autores

d. Resíduo de lã de rocha, lã de vidro e vermiculita (LR/LV/V): é proveniente do processo de acabamento de materiais compósitos utilizados para isolamento térmico e acústico. Este resíduo é composto por fibras de pequena dimensão (LR e LV) e grãos de vermiculita expandida, como ilustrado na Figura 3, e apresenta massa específica aparente de 0,42 g/cm³. A caracterização do resíduo pelo método de fluorescência de raio-x (FRX) é apresentado na tabela 3 a seguir. A caracterização por fluorescência foi realizada após moagem da amostra com peneiramento total em abertura 0,074 mm (Espectrômetro de fluorescência de RX Thermo Fischer Scientific, modelo ARL PERFORM'X 4200).

Figura 3 – areia natural, EPS triturado e resíduos de lã de rocha/lã de vidro/vermiculita



Fonte: Os autores

Tabela 3 – Composição química – caracterização por FRX

Compostos	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	P.F.	Álcalis Totais		
								Na ₂ O	K ₂ O	Equiv. Alcalino
Quantidade (% massa)	43,15	16,07	10,04	7,23	6,65	-	10,71	3,38	1,70	4,50

Fonte: Os autores

e. Água: foi empregada água da rede pública de abastecimento. A proporção de água utilizada foi definida com base na trabalhabilidade da argamassa.

f. Aditivo: foi utilizada uma emulsão polimérica comercial de base acrílica solúvel em água contendo fibras de polipropileno. Este aditivo de propriedades impermeabilizantes por hidrofugação e de melhoria da trabalhabilidade por incorporação de ar, apresenta densidade de 0,85 g/cm³, pH de 8,5 e teor de sólidos de 14%.

2.2 Métodos

a) Avaliação das argamassas - laboratório

As argamassas de laboratório foram produzidas utilizando-se um agitador mecânico com controle de rotação da marca IKA, modelo EUROSTAR 60 Control, provido de haste de hélice com 4 pás, com mistura por 6 minutos. A quantidade de água em cada traço foi definida com base na avaliação visual da trabalhabilidade por um profissional pedreiro.

No estado fresco foram realizados os ensaios do índice de consistência – flow table (ABNT NBR 13276:2002) e de densidade de massa (ABNT NBR 13278:2005). No estado endurecido, as argamassas foram caracterizadas, aos 28 dias, quanto à absorção de água por capilaridade e índice de capilaridade (ABNT 15259:2005), resistência à compressão e à tração na flexão (ABNT NBR 13279:2005) e densidade de massa aparente (ABNT NBR 13280:2005).

b) Avaliação da produção e do desempenho dos revestimentos

No processo de avaliação da viabilidade de produção fabril, realizou-se a seleção e trituração dos resíduos de EPS e seleção dos demais resíduos. Verificou-se ainda a capacidade de homogeneização dos resíduos quando do preparo em betoneira (capacidade de 200L), bem como a aplicação do revestimento sobre paredes de concreto com este ainda fresco.

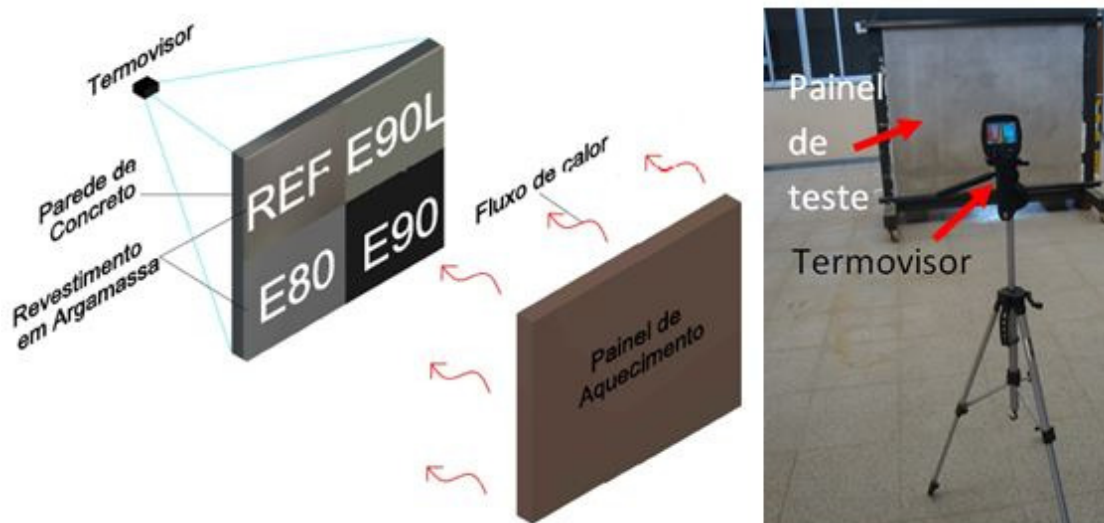
Além das paredes de concreto revestidas, foram moldadas também placas de revestimento de argamassa (28 cm x 17 cm x 2 cm) para realização de ensaios preliminares de durabilidade, e placas para ensaio de condutividade térmica (28 cm x 28 cm x 3,2 cm). O ensaio de durabilidade foi realizado em 10 ciclos de molhagem (1 dia) e secagem a 60°C em estufa com ventilação forçada (durante 6 dias).

O programa de ensaios das paredes contemplou a determinação da resistência de aderência à tração (ABNT NBR 13528:2010), a permeabilidade à água – método do cachimbo (NIT 224 - CSTC, 2002) e a avaliação do fluxo de calor através do painel de concreto revestido (termovisor). Para tal verificação foi necessária a utilização de uma parede de concreto (dimensão 1,70 m x 1,50 m) revestida com os quatro traços de argamassa em estudo. Cada traço ocupou um quadrante da parede de concreto com superfície de 85 cm x 75 cm. Este painel constituído da parede de concreto (10 cm de espessura) e revestido com as quatro argamassas estudadas (3

cm de espessura) foi submetido a aquecimento na face revestida, sendo avaliadas as diferenças de fluxo de calor e de temperatura na outra face da parede de concreto com auxílio de um termovisor infravermelho, marca FLIR modelo E40 (Figura 4).

O aquecimento da parede de concreto foi realizado utilizando aparato análogo ao proposto no Anexo E da norma ABNT NBR 15575-4:2013. O aparato possui 12 lâmpadas de aquecimento de 250 W dispostas em 3 fileiras e 4 colunas, com potência controlada por dimmers. O painel de aquecimento foi disposto a uma distância de 10 cm da parede revestida e a temperatura foi mantida a 80°C na superfície exposta ao aquecimento. A exposição da parede ao aquecimento durou 5 horas.

Figura 4 – esquema de aquecimento e avaliação da condutividade da parede de concreto por meio de termovisor



Fonte: Os autores

Procedimento de aquecimento similar foi utilizado em um painel montado com as placas de argamassa, de 3 cm de espessura, posicionadas em um suporte. As placas com dimensões de 30 cm x 30 cm foram expostas ao aquecimento durante uma hora, com a utilização de apenas 4 lâmpadas dispostas em duas linhas e duas colunas.

c) Verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico

A verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico dos painéis pré-moldados revestidos foi efetuada segundo o procedimento das normas ABNT NBR 15575:2013 e ABNT NBR 15220-2:2005. O Procedimento 1 - simplificado - da norma de desempenho estabelece os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica (U) das paredes externas e os valores mínimos admissíveis para a capacidade térmica (CT) das paredes externas. Os cálculos são efetuados conforme a NBR 15220-2 (equações 1 a 4). Para tanto, os valores de condutividade térmica dos materiais (argamassas e concreto) foram obtidos nas tabelas dessa norma para materiais similares aos desenvolvidos na presente pesquisa.

$$\text{Resistência Térmica da Parede: } R_t = (e_{\text{concreto}}/\lambda_{\text{concreto}}) + (e_{\text{argamassa}}/\lambda_{\text{argamassa}}) \quad (1)$$

$$\text{Resistência térmica Total: } R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (2)$$

$$\text{Transmitância Térmica: } U = 1/R_T \quad (3)$$

$$\text{Capacidade Térmica: } C_t = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{concreto}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{argamassa}} \quad (4)$$

Em que:

e: espessura do material;

λ : condutividade térmica do material;

R_{se} : resistência superficial externa;

R_{si} : resistência superficial interna;

c: calor específico do material;

ρ : densidade de massa aparente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos para as argamassas no estado fresco estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – resultados médios da caracterização das argamassas – estado fresco

Argamassa	REF	E80	E90	E90L
Consistência (mm)	255	167	153	140
Relação água/materiais secos	0,18	0,39	0,55	0,48
Relação água/aglomerantes	1,12	0,85	0,97	0,87
Densidade de massa (g/cm³)	1,868	0,770	0,628	0,729

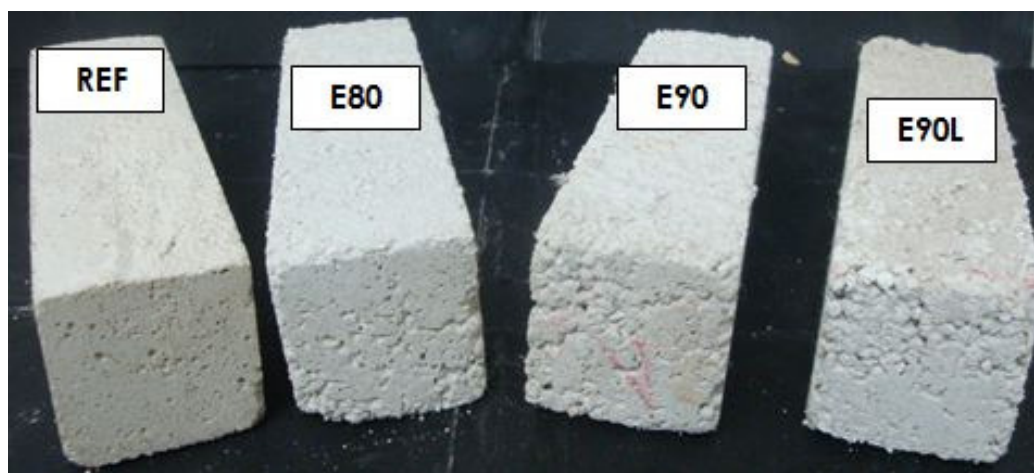
Fonte: Os autores

É possível inferir o decréscimo do índice de consistência com a adição de EPS. O EPS influencia reduzindo a fluidez dessas argamassas, mas não afeta a aplicação no sistema fabril que é um processo realizado com a placa na horizontal pós-concretagem das paredes. Os valores de densidade de massa no estado fresco indicam resultado satisfatório da inserção de resíduos leves na composição das argamassas.

O aspecto de acabamento das argamassas de revestimento produzidas é apresentado na Figura 5.

Os resultados obtidos para as argamassas no estado endurecido são apresentados na Tabela 5.

Figura 5 – aspecto do acabamento das argamassas



Fonte: Os autores

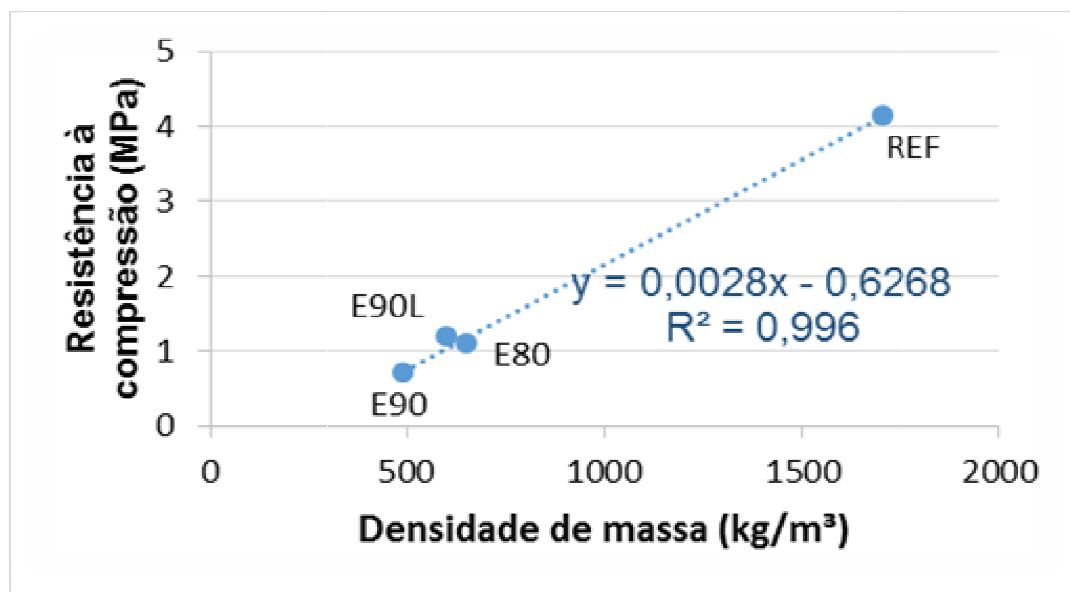
Tabela 5 – resultados médios da caracterização das argamassas – estado endurecido

	REF	E80	E90	E90L
Resistência à compressão (MPa)	4,13	1,10	0,70	1,19
Resistência à tração na flexão (MPa)	1,78	0,88	0,71	1,16
Relação entre RT/RC	0,4	0,8	1,0	1,0
Coeficiente médio de Capilaridade(g/dm².min^{1/2})	13,08	1,17	2,73	0,73
Densidade aparente (kg/m³)	1707	654	490	604

Fonte: Os autores

A resistência à compressão é afetada pela incorporação de resíduos leves e menos resistentes que formam uma estrutura menos compacta. No entanto, isto não é um problema, pois os revestimentos de argamassa não são solicitados durante sua vida útil em primazia por esforços de compressão. Quando comparadas as argamassas E90 e E90L, observa-se que a incorporação do resíduo LR/LV/V levou a um aumento significativo (70%) da resistência à compressão dessa argamassa. Isto se deve, provavelmente, por um efeito fíler de parte desse resíduo, melhorando o empacotamento da argamassa. Na Figura 6 tem-se a correlação obtida entre a resistência à compressão e a densidade aparente das argamassas. Nota-se que a densidade explica muito bem ($R^2 = 0,99$) o comportamento mecânico das argamassas estudadas.

Figura 6 – correlação resistência à compressão e densidade de massa



Fonte: Os autores

Os resultados do ensaio de capilaridade e absorção de água (Tabela 5) demonstraram a vantagem da utilização das argamassas elaboradas com os resíduos e polímero.

A resistência à tração na flexão também é reduzida para as argamassas com EPS. Infere-se também que o traço E90L com adição de resíduos fibrosos suporta maior carregamento quando submetido aos esforços de tração, uma vantagem dessa argamassa se comparada às demais apenas com EPS. Os resíduos de fibras cerâmicas reforçaram o compósito explicando o aumento de 60% na resistência à tração (tabela 5).

Na etapa de teste de viabilidade executiva das argamassas a avaliação foi qualitativa. Os procedimentos adotados na seleção e trituração de resíduos não demonstraram dificuldades executivas. Também a mistura em betoneira mostrou-se adequada, garantindo a homogeneização dos materiais. Por fim, a aplicação da argamassa como revestimento, com as placas pré-moldadas na horizontal, não apresentou dificuldade significativa.

A aderência dos revestimentos foi outro quesito avaliado nas paredes executadas em condições fabris (Tabela 6).

Tabela 6 – resultados de resistência de aderência

	REF	E80	E90	E90L
Média (MPa)	≥0,38	≥0,19	≥0,07	≥0,13
Desvio Padrão (MPa)	0,21	0,05	0,03	0,06
Tipo de ruptura	17% i-83% α	17% i-83% α	100% α	100% α

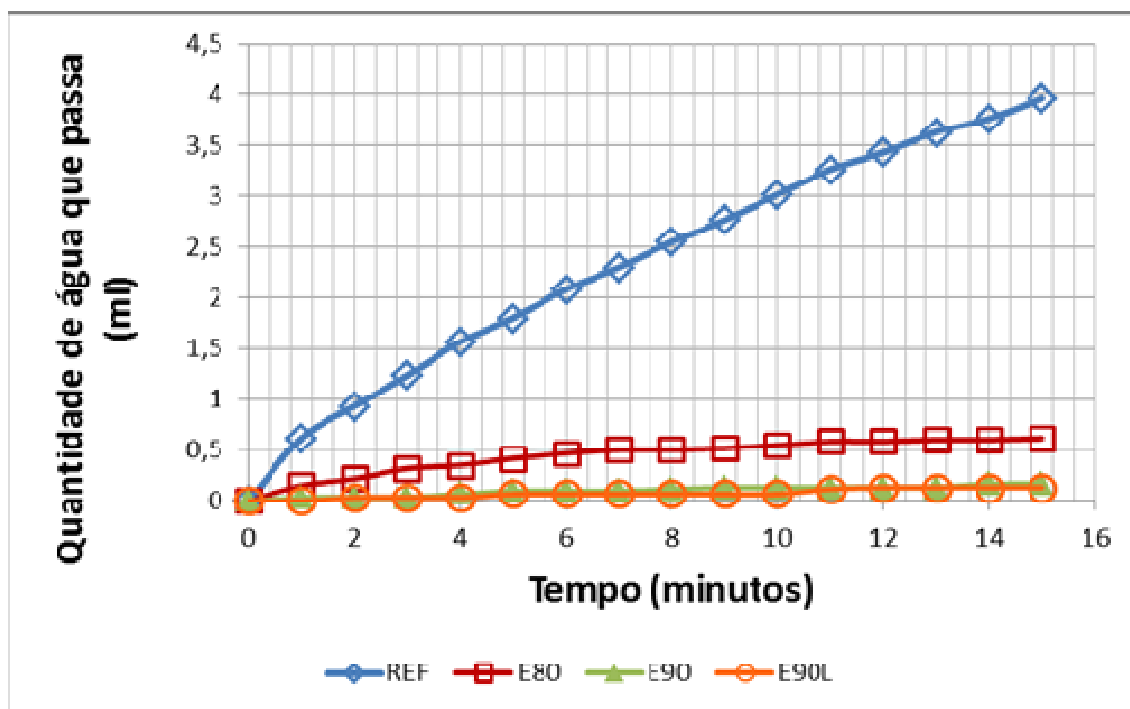
i = ruptura na interface argamassa/concreto; a = ruptura no interior da argamassa

Fonte: Os autores

Em uma primeira análise, a aderência dos revestimentos foi mais baixa com as argamassas contendo EPS. No entanto, a avaliação quanto à forma de ruptura ressalta uma predominância de rupturas no interior da camada de argamassa (tipo coesiva). Quando isso ocorre, o valor obtido não é, a rigor, um valor de aderência; a aderência (que é um fenômeno da interface) certamente é maior. Ou seja, a ruptura sendo predominantemente no interior da argamassa de revestimento, caracteriza falha inicial deste material (explicado pela baixa resistência à tração da argamassa), sem que se tenha uma exata resposta do valor da resistência de aderência na interface. Quando ocorrem rupturas coesivas, os valores mais baixos são menos preocupantes, pois as rupturas perigosas são as que ocorrem na interface argamassa/substrato, uma vez que existe um maior potencial para a patologia de descolamento. Ademais, as argamassas com resíduos são muito leves, não solicitando por meio do seu peso próprio a interface ao longo de sua vida útil. Nos resultados se nota que a incorporação de resíduos LR/LV/V (E90L) implica em acréscimo considerável nesta propriedade quando comparado com o traço semelhante (E90), praticamente dobrando de valor.

A avaliação do material argamassa indicou bons resultados quanto à capilaridade, mas é necessária a avaliação do sistema (revestimento aplicado às placas pré-moldadas) que foi produzido em condições fabris, tendo-se, dessa forma uma informação quanto ao desempenho (estanqueidade). Para a avaliação da permeabilidade e absorção de água do sistema de revestimento utilizou-se o método do cachimbo. Os resultados do experimento são apresentados na Figura 7. Ficou confirmado o excelente desempenho dos revestimentos elaborados com os resíduos e o aditivo frente à argamassa de referência, destacando-se os revestimentos com mais de 90% de EPS e com os resíduos de lã de vidro e de rocha e vermiculita.

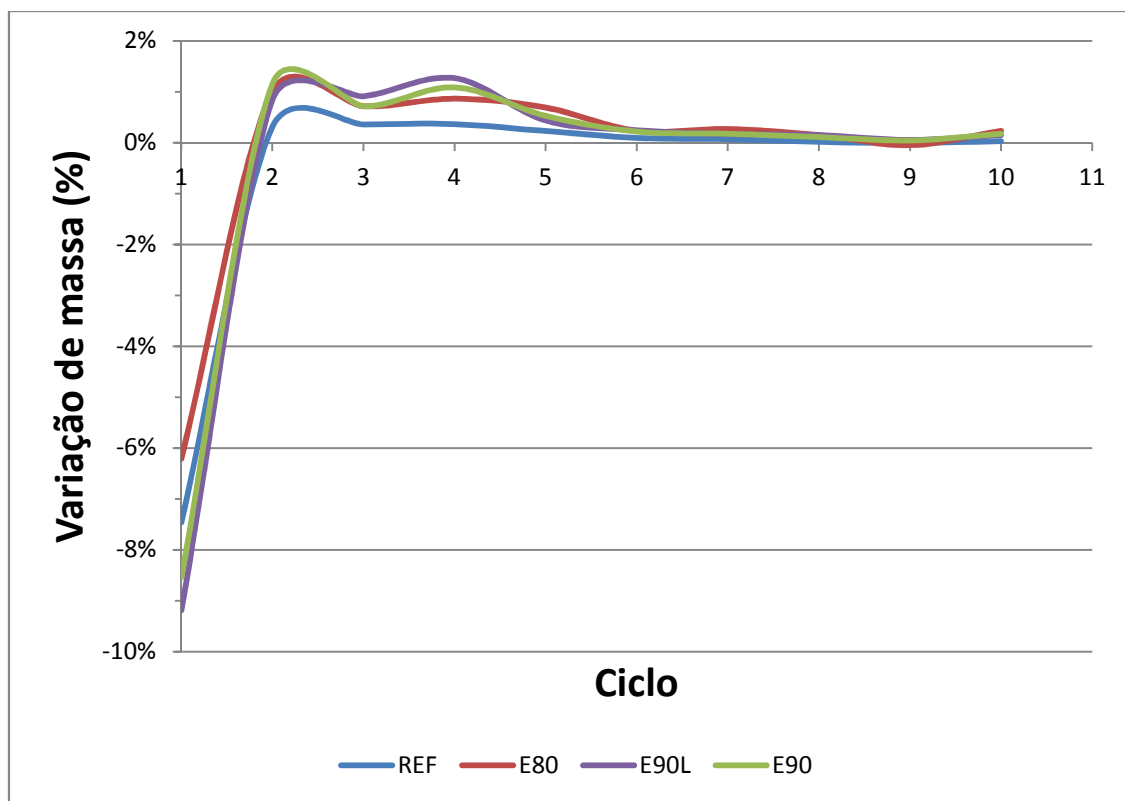
Figura 7– Resultados do ensaio do revestimento pelo método do cachimbo



Fonte: Os autores

Relativo à avaliação preliminar da durabilidade, as argamassas com os resíduos apresentaram comportamento similar ao da argamassa de referência, indicando potencial para sua utilização em revestimentos externos. Os ciclos de molhagem e secagem ao longo do tempo indicam que a argamassa manteve sua integridade próxima aos valores de referência, de modo que pode se inferir que esse material possivelmente apresentará durabilidade em condições de serviço ao longo da vida útil. A Figura 8 apresenta a variação de massa das amostras avaliadas a cada ciclo de exposição.

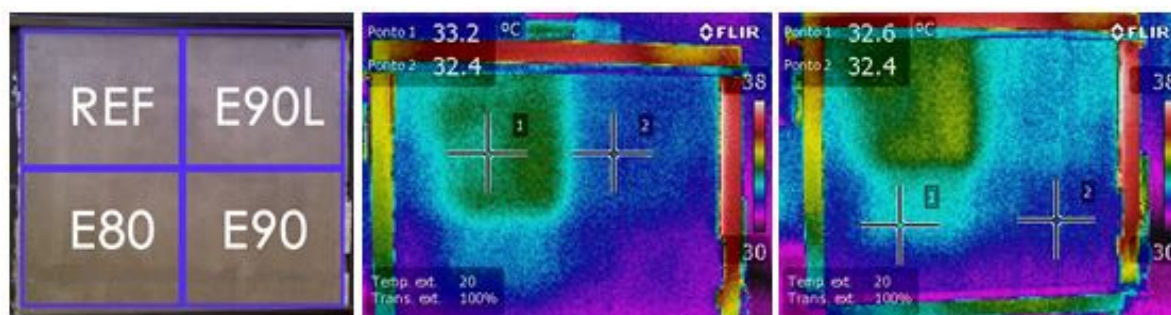
Figura 8 – gráfico de variação de massa de amostras de argamassa expostas a ciclos de durabilidade



Fonte: Os autores

O ensaio de aquecimento para verificar as diferenças de fluxo de calor permitiu inferir, com o auxílio de imagens térmicas, que há nítida diferença entre a argamassa de referência e as argamassas com incorporação de resíduos (Figura 9).

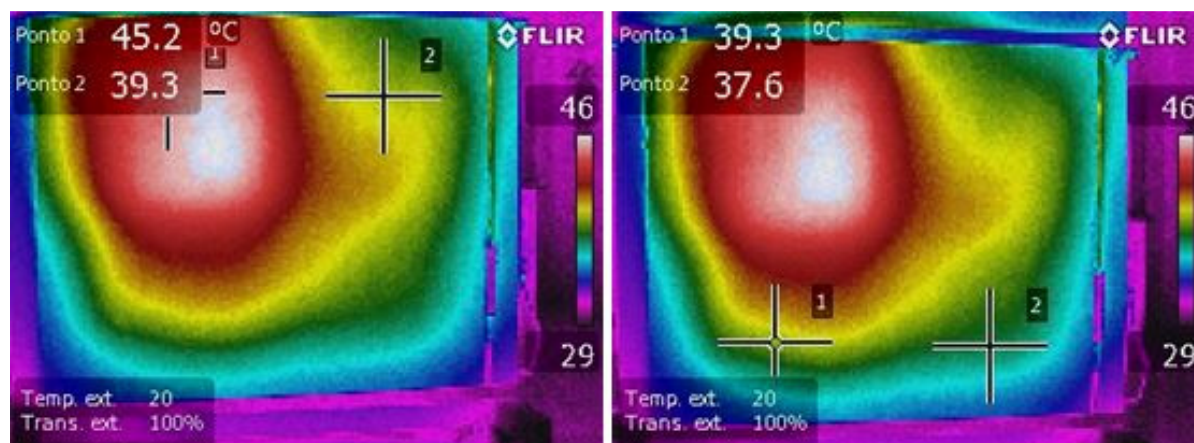
Figura 9 – Quadrantes atrás da parede de concreto; temperaturas REF(33,2°C), E90L (32,4°C), E80(32,6°C), E90(32,4°C) após uma hora de aquecimento



Fonte: Os autores

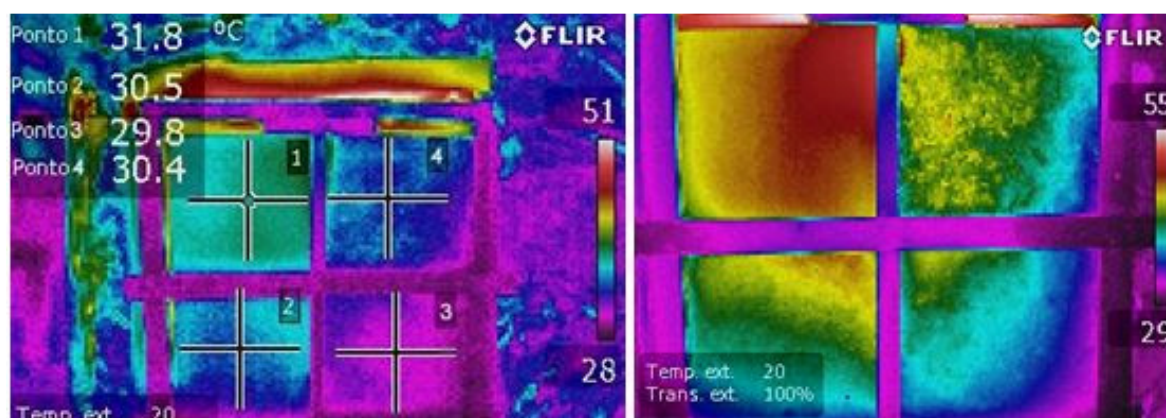
A Figura 10 apresenta os resultados obtidos pelo aquecimento contínuo por 5 horas da parede de concreto revestida. A Figura 11 apresenta os resultados do aquecimento das placas de argamassa de revestimento.

Figura 10 – temperaturas REF(45,2°C), E90L(39,3°C), E80(39,3°C), E90(37,6°C) após cinco horas de aquecimento



Fonte: Os autores

Figura 11 – temperaturas REF(31,8°C), E90L (30,4°C), E80(30,5°C), E90(29,8°C) após 25 minutos de aquecimento; gradiente de temperatura nas placas de revestimento após uma hora de aquecimento



Fonte: Os autores

É possível inferir que os revestimentos com resíduos, propostos para serem isolantes térmicos, atrasam o ganho de temperatura e impedem o fluxo rápido de calor através da parede de concreto. O aquecimento das placas indica a influência individualizada da argamassa de revestimento que dificulta o fluxo de calor devido à estrutura mais leve. A diminuição da massa específica está diretamente ligada à condutividade térmica. Os resíduos LR/LV/V propiciam a redução da absorção e transferência de calor.

Prosseguiu-se a pesquisa com o cálculo simplificado para a verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico de vedações verticais externas. A tabela B.3 da ABNT NBR 15220-2:2005 no seu anexo A apresenta valores indicativos de condutividade térmica para alguns materiais em função de sua composição e densidade de massa aparente. Os valores de condutividade de concreto e argamassa convencionais constam na tabela da norma. A estimativa da argamassa E80 foi aproximada ao valor de uma argamassa celular, faixa de densidade entre 600 a 1000 kg/m³. De modo análogo, as condutividades térmicas das argamassas E90L e E90, foram

estimadas com valores de concreto com argila expandida com dosagem de cimento menor que 250kg/m^3 de densidade entre $600\text{--}800\text{ kg/m}^3$ e $<600\text{ kg/m}^3$. A Tabela 7 apresenta os valores arbitrados de condutividade que foram adotados para os cálculos, utilizando as equações 1 a 4, apresentadas anteriormente.

Tabela 7 – condutividade térmica adotada com base na ABNT NBR 15220:2005

	Concreto	REF	E80	E90	E90L
Condutividade Térmica (W/m.K)	1,75	1,15	0,40	0,20	0,25

Fonte: Os autores

Quando se emprega as equações 1 a 4 para a parede de concreto (10 cm) revestidas com argamassa (3 cm) e utilizando as estimativas de condutividade térmica, obtêm-se os valores apresentados na Tabela 8. Estes parâmetros permitem uma caracterização prévia dessas propostas de SVVE em avaliação.

Tabela 8 – parâmetros de caracterização térmica calculados

	REF	E80	E90	E90L
Resistência Térmica da Parede ($\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$)	0,08	0,13	0,21	0,18
Resistência Térmica Total ($\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$)	0,25	0,30	0,38	0,35
Transmitância Térmica $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	3,95	3,31	2,65	2,88
Capacidade Térmica $\text{KJ}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	281,21	249,62	244,70	248,12

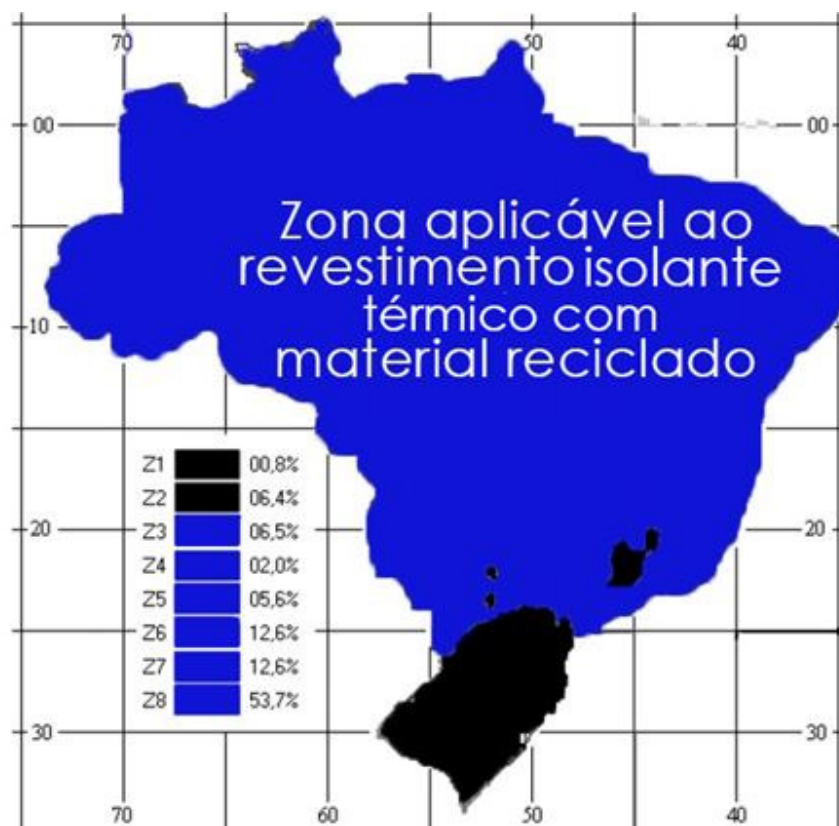
Fonte: Os autores

Considerando os resultados apresentados em avaliação ao que é exigido pela Norma de Desempenho (ABNT NBR 15575:2013), todas as propostas de avaliação se enquadram como adequadas ao se tratar da capacidade térmica de paredes externas, que devem apresentar valores superiores a $130\text{ KJ/m}^2\cdot\text{K}$.

Entretanto, ao se utilizar o parâmetro de transmitância térmica de paredes externas, o sistema de revestimento com argamassa referência não atende o critério para nenhuma zona bioclimática brasileira. Este critério é apresentado na tabela 13 da norma ABNT NBR 15575-4:2013. Os sistemas de revestimento com utilização de EPS e demais resíduos se qualificam dentro do espectro de sistemas que atendem às zonas bioclimáticas 3 a 8, desde que recebam pintura com cores claras. Estes sistemas possuem valor de transmitância térmica inferior a $3,7\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ e assim atendem a maior parte do território nacional em conformidade com a norma de desempenho (Figura 12). As zonas 1 e 2 que não são atendidas estão concentradas na região sul

e em pequenas partes da região sudeste do país.

Figura 12 – zonas bioclimáticas e adequação das paredes de concreto revestidas com as argamassas contendo resíduos



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15220:2005

Confirmados os resultados através de ensaios de condutividade térmica, as argamassas com resíduos aplicados no sistema de vedação delimitado no estudo podem ser consideradas superiores à argamassa de referência. O sistema de revestimento com argamassa leve oriunda da incorporação de resíduos possui potencial sustentável, de durabilidade, e de otimização de desempenho térmico. Entretanto, estudos complementares devem ser realizados para aplicação do material.

4 CONCLUSÕES

A partir dos ensaios e análises realizadas conclui-se que as argamassas contendo os resíduos estudados apresentam grande potencial para utilização como revestimentos isolantes térmicos de placas de concreto pré-moldado.

O revestimento elaborado com a argamassa contendo 91,7% de substituição de areia por EPS reciclado e resíduos de lã de rocha, lã de vidro e vermiculita (E90L) foi considerado o mais adequado para o sistema de vedação. Isto porque, além desse sistema atender aos parâmetros de capacidade térmica e de transmitância térmica prescritos pela norma ABNT NBR 15575:2013 para as zonas bioclimáticas 3 a 8, atendendo a maior parte do território nacional, ficou comprovado nos experimentos com termografia

infravermelha que este revestimento atrasa o ganho de temperatura e impede o fluxo rápido de calor através da parede de concreto. Ademais, o revestimento com essa argamassa apresentou preliminarmente comportamento adequado quanto a outros parâmetros de desempenho (estanqueidade, aderência e durabilidade) indicando o potencial para utilização em sistemas de vedação externa.

REFERÊNCIAS

ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575 Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ABRAPEX. Associação Brasileira do Poliestireno Expandido. Manual de Utilização – EPS na construção civil. São Paulo: Pini, 2006.

APOLÔNIO, R. M.; OMAR, L. G.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; CARVALHO, B. C. Avaliação do desempenho térmico da envoltória de edificação comercial na cidade de Cuiabá. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 13., 2010, Canela.

BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10295.htm> Acesso em: 23 de setembro de 2015.

BRASIL. Decreto Lei nº 4.059 de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001 e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/D4059.htm> Acesso em: 23 de setembro de 2015.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, Geraldo C. (Org.). Materiais de Construção Civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. São Paulo: IBRACON, 2010, v.2. P. 893.

DANTAS, C.; BARBIRATO, G. Avaliação do desempenho térmico e conforto térmico dos usuários em empreendimentos residências horizontais do Programa Minha Casa Minha Vida em Maceió - AL. In: ERGODESIGN - Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade de Interfaces Humano-Tecnologia, 15., 2015, Recife.

HAMMOND G.; JONES C. Inventory of Carbon & Energy. University of Bath: United Kingdom, 2011.

MEDEIROS, M. G.; CASTILHO, A. B.; ROCHA, J. C.; OLIVEIRA, K. A. Caracterização e classificação do resíduo de lã de rocha para utilização em indústria cimenteira. In: Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, 5., 2014, São Leopoldo.