

DESEMPENHO TÉRMICO DE ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM RESÍDUOS DA MINERAÇÃO E SIDERURGIA

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081110

BARRETO; RODRIGO RONY[1]; MENDES; VITOR FREITAS[1]; FARDIN; WELINGTON[1]; SANTANA; VANESSA PEREIRA[1]; MENDES; JULIA CASTRO[1]
[1]UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO.
E-MAIL DO AUTOR CORRESPONDENTE: VANESSA.SANTANA@ALUNO.UFOP.EDU.BR

RESUMO: Este estudo avalia o desempenho térmico de argamassas de revestimento produzidas com a substituição total do agregado natural por três resíduos: Rejeito de Barragem de Minério de Ferro, Quartzito Friável e Escória de Aciaria. Foram realizadas simulações energéticas de uma habitação de interesse social, no software EnergyPlus. Como resultado, as argamassas de resíduos obtiveram desempenho térmico similar ou superior às convencionais, com destaque para a de escória de aciaria. Isso ocorreu devido à alta capacidade térmica e baixa condutividade térmica desse material. Assim, argamassas de resíduo são alternativas promissoras para melhorar o desempenho térmico de edificações no Brasil.

PALAVRAS-CHAVES: Desempenho térmico; matrizes cimentícias; resíduos da mineração e siderurgia; simulação energética.

ABSTRACT: This study evaluates the thermal performance of coating mortars produced with the total replacement of the natural aggregate by three residues: Iron ore tailing, Friable Quartzite and Steel Slag. Energy simulations of low-income housing were carried out using the EnergyPlus software. As a result, waste mortars obtained thermal performance similar to or superior to conventional ones, with emphasis on steel slag. This was due to the high thermal capacity and low thermal conductivity of this material. Thus, waste mortars are promising alternatives to improve the thermal performance of buildings in Brazil.

KEYWORDS: Thermal performance; cementitious matrices; mining and steel wastes; energy simulation.

1 | INTRODUÇÃO

A geração de resíduos dos setores da mineração e siderurgia e o seu armazenamento de forma imprudente vem causando sérios problemas econômicos, ambientais e sociais. Nesse cenário, o setor da construção civil se apresenta como uma potencial solução, devido a sua grande capacidade de incorporação destes resíduos na produção de materiais e sistemas construtivos. Por isso, nos últimos anos, em todo o mundo, diversos resíduos industriais vêm sendo investigados para emprego na construção civil, tais como o Rejeito de Barragem de Minério de Ferro (RBMF), o Quartzito Friável (QTZ) e a Escória de Aciaria (EA).

O QTZ é oriundo do corte de quartzito comercial não tem aproveitamento

econômico como material de revestimento e, por isto, é definido como estéril da lavra [1]. Segundo Mendes [2], o uso deste resíduo em compósitos cimentícios é viável, desde que o mesmo não seja altamente intemperizado. Assim, diversos estudos atestam o potencial de aplicabilidade do QTZ no setor da construção, tais como para a produção de argamassas de assentamento e revestimento [3] e para produção de argamassas colantes [1].

O RBMF, subproduto resultante dos processos de beneficiamento do minério de ferro, também foi estudado para produção de argamassas para assentamento e revestimento [4]. Há ainda estudos que investigam a aplicação deste resíduo em revestimentos cerâmicos e hidráulicos [5], usando o RBMF como agregado e como pigmentos para tintas imobiliárias [6].

A EA, por sua vez, é um resíduo proveniente da cadeia produtiva de aço no setor siderúrgico, gerado durante o processo inicial de refino [7]. A viabilidade da incorporação deste resíduo na produção de materiais de construção já foi verificada em estudo para produção de blocos de alvenaria e argamassas [8]. A EA também foi utilizada para a produção de concretos com reduzido consumo de cimento [9].

Contudo, mesmo demonstrando grande potencial para aplicabilidade no setor da construção, ainda há uma lacuna de pesquisas sobre o desempenho térmico desses resíduos quando incorporados a elementos construtivos. Além disso, no Brasil, a preocupação em se construir edificações com um melhor desempenho térmico ainda é pequena. As habitações brasileiras, principalmente aquelas construídas por programas de financiamento sociais, não são projetadas de acordo com as características de sua zona bioclimática, nem com materiais que garantiriam maior conforto térmico para os moradores [10].

Neste sentido, a escolha dos materiais adequados de acordo com o local da construção pode influenciar no desempenho térmico da edificação e no conforto dos usuários. Além disso, os materiais do sistema de vedação desempenham um papel fundamental em relação à sustentabilidade, pois influenciarão na necessidade de aquecimento/resfriamento artificial do ambiente interno durante todo o ciclo de vida da edificação [11].

Assim sendo, este trabalho investiga o desempenho térmico de argamassas de revestimento produzidas com resíduos em substituição de 100% do agregado natural. Como o sistema de revestimento é um dos principais fatores que influenciam no desempenho térmico de uma edificação [12], a utilização dessas argamassas permite a avaliação seu efeito neste sistema.

2 | METODOLOGIA

Neste trabalho foi analisado o desempenho térmico de uma edificação de interesse social, na qual se utilizou argamassas de revestimento produzidas com resíduos QTZ, RBMF e AE, através de simulações energéticas. As simulações foram feitas com o software EnergyPlus para um período de um ano. Foram consideradas cidades que representam cada uma das oito zonas bioclimáticas brasileiras, conforme detalhado a seguir.

2.1 Descrição da edificação do estudo de caso – Vila Sustentável

A Vila Sustentável, objeto deste estudo, é uma habitação de interesse social localizada no campus da Universidade Federal de Ouro Preto, que foi desenvolvida visando proporcionar conforto e segurança para populações de baixa renda de forma sustentável. As características do projeto como geometria, dimensões e método construtivo foram utilizadas como dados de entrada da simulação. Mais informações sobre esse projeto pode ser vistas em trabalhos anteriores [8].

A avaliação do desempenho térmico das argamassas de resíduos como material de vedação foi realizada para as oito zonas bioclimáticas do país, definidas conforme a NBR 15220. A Tabela 1 exibe as cidades utilizadas no modelo da edificação para as simulações energéticas.

Zona Bioclimática	Cidade Simulada
1	Curitiba – PR
2	Camaquã – RS
3	São Paulo – SP
4	Brasília – DF
5	Vitória da Conquista – BA
6	Campo Grande - MS
7	Cuiabá – MT
8	Manaus - AM

Tabela 1 - Cidades utilizadas e sua respectiva zona bioclimática.

2.2 Propriedades termofísicas das argamassas

As características térmicas e físicas das argamassas simuladas foram obtidas em estudos anteriores [2,13] onde houve a substituição total do agregado miúdo convencional pelos resíduos investigados. A Tabela 2 exibe as propriedades das argamassas utilizadas como dados de entrada para a simulação computacional e análise do desempenho térmico das edificações. O valor da espessura das argamassas foi padronizado em 0,02 m e o traço em 1:1:6 (cimento:cal:agregado), tipicamente adotado para revestimento de alvenarias.

Resíduo	Condutividade Térmica - λ (W/mK)	Diferença de λ em relação à REF (%)	Calor Específico - c (J/(kg.K)	Massa Esp. Aparente - ρ (kg/m³)	Densidade energética (MJ/K)	Diferença de Densidade Energética em relação à REF (%)
REF	0,98	0%	722	1831	1,32	0
EA	0,72	-26%	720	2442	1,76	+33%
QTZ	0,94	-4%	748	1754	1,31	-0,7%
RBMF	0,49	-50%	753	1821	1,37	+3,8%

Tabela 2 - Características termofíscas das argamassas.

Fonte: adaptado de Mendes (12)

2.3 Análise dos dados: Método das diferenças acumuladas

Para a análise dos resultados das simulações, adotou-se o Método das Diferenças Acumuladas. Este método foi elaborado pelo grupo de pesquisa dos autores com o objetivo de comparar o desempenho térmico de diferentes materiais de construção. O método consiste em medir e somar a diferença entre a temperatura horária externa e interna ao longo de todo o ano. Estas somas são realizadas de forma separada (soma das positivas e soma das negativas). Posteriormente, um acumulado total é calculado, somando-se os módulos dos acumulados positivo e negativo. Dessa forma, os materiais que apresentam um melhor desempenho térmico são caracterizados pelo maior acumulado total de diferenças entre a temperatura interna e externa.

A Figura 1 apresenta essa metodologia em um gráfico que retrata um período de 3 dias de uma simulação genérica. A linha tracejada indica a temperatura no interior da edificação, a linha contínua mostra a temperatura externa à edificação e, por fim, as barras representam as diferenças entre as temperaturas externas e internas. Neste trabalho, essa análise foi realizada para todas as argamassas testadas.

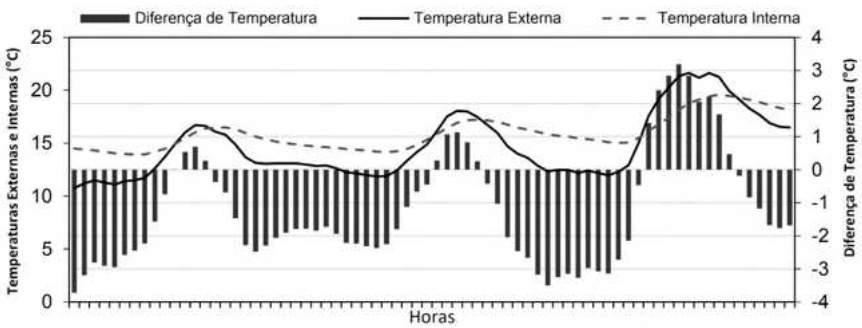

Figura 1 - Método Das Diferenças Acumuladas

Fonte: os autores

3 | RESULTADOS

3.1 Desempenho térmico das argamassas: acumulado positivo

A Figura 2 apresenta os resultados das análises das simulações energéticas quando a temperatura exterior se manteve acima da temperatura interior (acumulado positivo) da edificação ao longo de um ano, para cada zona bioclimática brasileira. É possível observar que o comportamento das argamassas se manteve semelhante em todas as zonas simuladas.

De modo geral, as argamassas de REF e de QTZ apresentaram valores próximos enquanto as argamassas produzidas com RBMF e EA acumularam maiores valores de diferença entre os ambientes interno e externo ao longo do ano, chegando a 14.938 °C para a argamassa de EA na zona 7. Isso significa que somente a troca dos agregados naturais por EA na argamassa de revestimento permitiu que 174°C fossem "economizados" no interior da edificação ao longo do ano. Por isso, as argamassas de RBMF e de EA demonstraram um potencial maior de isolamento em períodos quentes.

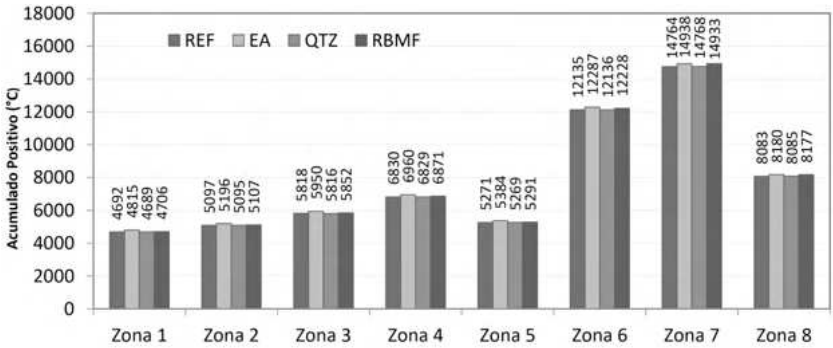

Figura 2 - Acumulativo Positivo das argamassas simuladas para cada zona bioclimática brasileira

Fonte: os autores

Este fenômeno pode ser associado ao fato de as argamassas de RBMF e EA apresentarem valores menores de condutividade térmica, (0,49 e 0,72 W/(m·K) respectivamente), quando comparadas com a condutividade da argamassa de REF (0,98 W/(m·K)), conforme apresentado na Tabela 2. A baixa condutividade térmica dessas argamassas está correlacionada à microestrutura da matriz cimentícia e seu sistema de poros [14].

Os maiores valores de acumulados positivos para a argamassa de EA também podem ser justificados pela sua maior massa específica e calor específico e, consequentemente, pela maior capacidade térmica. A argamassa de EA apresentou uma densidade energética 33% maior que a argamassa de REF (Tabela 2). Por isso, essa argamassa necessita de uma maior quantidade de energia para aumentar sua temperatura e é capaz de reter mais calor, o que deixa a edificação menos exposta às variações externas de temperatura.

3.2 Desempenho térmico das argamassas: acumulado negativo

A Figura 3 apresenta os resultados das análises das simulações energéticas quando a temperatura exterior se manteve abaixo da temperatura interior da edificação, para cada zona bioclimática brasileira. Da mesma forma que os acumulados horários negativos, em cada zona, as argamassas de QTZ e RBMF se comportaram de forma semelhante às argamassas de REF. O RBMF possui densidade energética muito próxima à da argamassa de REF (apenas 3,8% maior), conforme apresentado na Tabela 2. Por isso, possivelmente, para períodos com temperaturas baixas, a argamassa de RBMF não se mostra tão eficiente para o isolamento quanto em períodos quentes. Devido à sua baixa densidade energética, a argamassa de RBMF não acumula tanto calor durante o dia e não transfere para o interior da edificação durante o período da noite.

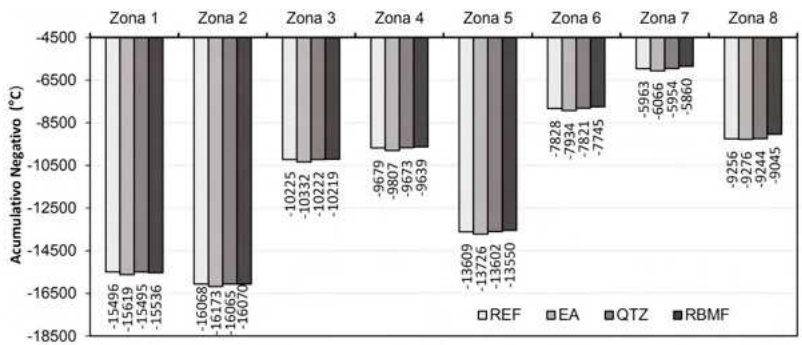

Figura 3 - Acumulativo Negativo de cada argamassa simulada para cada zona bioclimática brasileira

Fonte: os autores

As argamassas de EA mostraram, em todas as zonas, melhores desempenhos térmicos que as demais argamassas estudadas. A variação entre a argamassa de EA e a argamassa de REF chegou a -129 °C. De modo semelhante aos resultados de Acumulado Positivo, o melhor desempenho da argamassa de EA pode ser associado à sua maior densidade energética quando comparada as demais argamassas. Essa característica proporciona ao material uma maior retenção de calor e consequentemente reduz as perdas de calor excessivas no inverno e os ganhos elevados no verão [13].

3.2.1 Acumulado total

A Figura 4 apresenta os resultados das análises das simulações energéticas com o somatório dos acumulados positivo e negativo, em módulo, para cada zona bioclimática brasileira. Assim como nos resultados anteriores, as argamassas apresentaram comportamentos semelhantes em todas as zonas.

De modo geral, argamassa de EA demonstrou os melhores resultados no desempenho térmico quando comparada às demais, proporcionando à edificação o melhor isolamento térmico. Os valores de variação para este tipo de argamassa se

apresentaram melhores que as argamassas de REF entre 118 °C (zona 8) e 277 °C (zona 7) ao longo do ano. A argamassa de QTZ teve resultados semelhantes às argamassas de REF em todas as simulações. Como visto anteriormente, esses resultados estão relacionados às propriedades termofísicas destes rejeitos (Tabela 2).

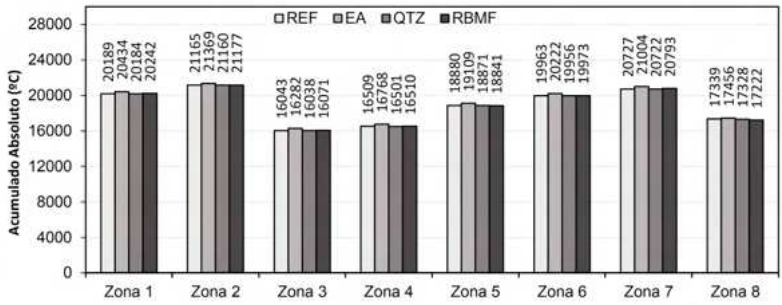

Figura 4 - Acumulativo Total de cada argamassa simulada para cada zona bioclimática brasileira

Fonte: os autores

A argamassa de RBMF, por sua vez, teve um comportamento similar à de REF para o acumulado negativo e melhores resultados para o acumulado positivo. Dessa forma, para o acumulado absoluto, a argamassa de RBMF teve um comportamento semelhante à argamassa de REF nas zonas 2, 3, 4, 5 e 6 e se mostrou melhor que a argamassa de REF nas zonas 7 e 1, com economia energética de 66 °C e 54 °C, respectivamente. Isso se deve à baixa condutividade térmica das argamassas de RBMF quando comparada à argamassa de REF. Essa condutividade térmica reduzida atrasa a transferência de calor entre os ambientes, fazendo com que assim se tenha uma maior diferença entre a temperatura externa e interna, resultando em um acumulado absoluto maior.

4 | CONCLUSÕES

A avaliação do desempenho térmico das argamassas produzidas com resíduos EA, QTZ e RBMF foi realizada a partir de simulações energéticas em uma habitação de interesse social. As simulações permitiram avaliar se as argamassas produzidas com estes resíduos conferem alguma melhoria no desempenho térmico da edificação para as diferentes regiões do país.

As propriedades termofísicas das argamassas de resíduos influenciaram diretamente nos resultados de desempenho térmico. As argamassas de EA apresentaram os melhores resultados em todas as análises e para todas as zonas, proporcionando uma redução de temperatura à edificação de até 277 °C ao longo do ano se comparada a uma argamassa convencional (REF). A argamassa de RBMF, dependendo da zona em que é aplicada, pode proporcionar uma economia de até 169 °C. Esta teve melhor desempenho em regiões de climas mais quentes. Já a argamassa de QTZ se manteve semelhante às argamassas de REF, com diferenças inferiores a 10 °C.

Assim, as argamassas de resíduos se mostraram promissoras, pois, além

de reduzirem os impactos ambientais causados pela disposição dos resíduos, proporcionaram desempenho térmico similar ou superior às edificações em todo país.

REFERÊNCIAS

1. DIAS, L. S. et al. Rejeitos de mineração de quartzito para produção de argamassa colante. Anais do 22º CBECiMat. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. 2017.

2. MENDES, J. C. **Thermal Properties of Cement-based Composites**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2019.

3. SANTOS, D. **Substituição total do agragado natural por auartzito friável para produção de argamassas de assentamento e revestimento**.Universidade Federal De Ouro Preto. 2015.

4. FONTES, W. C. et al. Mortars for laying and coating produced with iron ore tailings from tailing dams. **Construction and Building Materials**, v. 112, p. 988–995, 2016.

5. FONTES, W. C. **Studies on the use potential of iron ore tailings as alternative raw material in manufacture of ceramic and hydraulic tiles**. Universidade Federal de Ouro Preto, 2018.

6. GALVÃO, J. L. B. et al. Reuse of iron ore tailings from tailings dams as pigment for sustainable paints. **Journal of Cleaner Production**, July 2018.

7. COSTA, L. C. B. **DESEMPENHO DE CONCRETOS DE ESCÓRIA DE ACIARIA FRENTE A ATAQUE DE CLORETOS**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2019.

8. FRANCO, L. C. et al. Design and thermal evaluation of a social housing model conceived with bioclimatic principles and recycled aggregates. **Sustainable Cities and Society**, 2019.

9. CARVALHO, J. M. F. et al. Low Environmental Impact Cement Produced Entirely from Industrial and Mining Waste. **Journal of Materials in Civil**, v. 31 (2), p. 04018391, 2019.

10. MORENO, A. C. R.; MORAIS, I. S. D.; SOUZA, R. V. G. D. Thermal Performance of Social Housing - A Study Based on Brazilian Regulations. **Energy Procedia**, p. 111 - 120, 2016.

11. PACHECO, R.; ORDÓNEZ, J.; MARTÍNEZ, G. Energy efficient design of building: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Granada, Spain , 2012.

12. SADINENI, S.; MADALA, ; BOEHM,. Passive building energy savings: A review of building envelope components. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, p. 3617–3631, 2011.

13 MENDES, J. C. et al. Factors affecting the specific heat of conventional and residue-based mortars. **Construction and Building Materials**, Novembro 2019.

14. MENDES, J. C. et al. On the relationship between morphology and thermal conductivity of cement-based composites. **Cement and Concrete Composites**, July 2019.