

]

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE LIGANTES DE MENOR
IMPACTO AMBIENTAL: AVALIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE
ARGAMASSAS**

**DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF BINDERS OF LOWER
ENVIRONMENTAL IMPACT: EVALUATION OF THERMAL CONDUCTIVITY OF
MORTARS**

Rafael Kaiser¹

Rafaela Casanova²

Francieli Tiecher Bonsembiante³

Luciana Oliveira Fernandes⁴

Richard Thomas Lermen⁵

RESUMO

O presente trabalho tem como principal objetivo avaliar a condutividade térmica dos materiais utilizados na construção civil, como a argamassa de revestimento. Foram produzidos corpos de prova com argamassa de areia natural e areia de britagem e submetidos a ensaios de condutividade térmica após 28 dias de cura, utilizando o método de fio quente superficial. A aquisição de dados do ensaio foi realizada através de algoritmos no software Python e uma plataforma de prototipagem Arduino. Foram analisados os resultados e concluídos que a argamassa de areia de britagem se mostra com desempenho térmico superior a argamassa de agregado convencional.

Palavras-chave: Condutividade Térmica. Argamassa. Areia Natural. Areia Britagem

ABSTRACT

The main objective of this work is to analyze the thermal conductivity of natural sand and crushed sand mortar. The test specimens were produced with the two aggregates and submitted to thermal conductivity tests after 28 days of curing using the superficial hot wire method. The acquisition of test data was performed using Python algorithms and an Arduino prototyping platform. The results were analyzed and concluded that the crushed sand mortar is shown with thermal performance superior to conventional aggregate mortar.

Keywords: Thermal Conductivity. Mortar. Natural sand. Sand Crushing

1 INTRODUÇÃO

O emprego de materiais cimentícios alternativos vem sendo largamente estudado nas últimas décadas, visto o grande impacto ambiental dos materiais tradicionais (METHA; MONTEIRO, 2008). Tais materiais, ao serem empregados precisam apresentar comportamento, no mínimo, equivalente aos materiais comumente empregados.

Neste sentido, quando se fala do emprego de materiais alternativos em argamassas, é necessário buscar boa trabalhabilidade no estado fresco, resistência mecânica e de aderência, bem como, bom desempenho térmico, entre outros.

Na confecção de argamassas empregando os materiais tradicionais já se tem conhecimento do comportamento dos materiais. Entretanto, ao empregar novos materiais estudos precisam ser realizados a fim de atender as exigências normativas.

O pó de brita é um resíduo obtido da britagem das rochas para obtenção de agregado graúdo. Normalmente esse resíduo não é empregado na produção de argamassas devido às dificuldades de dosagem. Entretanto, trata-se de uma alternativa interessante frente à escassez de areia de rio, que vem se agravando nos últimos anos (SILVA, 2005).

O presente estudo tem como objetivo principal avaliar a condutividade térmica de argamassas de revestimento confeccionadas com resíduos de britagem.

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A caracterização dos materiais consistiu nos ensaios de análise granulométrica, massa específica e unitária. Antes de iniciar a caracterização, os materiais foram separados e passaram pelo processo de secagem, sendo espalhados por uma superfície plana e limpa, pois os volumes eram maiores que a estufa suportaria, onde

seria o procedimento mais adequado de acordo com as normativas.

A análise granulométrica segue a norma ABNT NBR 7211:2005, onde as amostras representativas de um lote de agregados miúdos, coletadas de acordo com a ABNT NBR NM 26 e reduzidas para ensaio de acordo com a ABNT NBR NM 27, são colocadas sobre um jogo de peneiras e submetidas à agitação em agitador mecânico de peneiras.

Após o peneiramento o material é pesado individualmente para sabermos o peso do material retido após o processo, para determinação dos percentuais retidos, acumulados, módulo de finura e dimensão máxima característica, além do traçado da curva granulométrica.

Também foram determinadas as massas específica e unitária dos agregados, de acordo com a NBR NM 52. O ensaio de massa unitária é feito com um recipiente metálico retangular, onde se calcula o seu volume e afere-se o seu peso vazio. O recipiente é preenchido com o agregado e pesado novamente, faz-se a subtração dos valores de peso cheio por vazio e divide-se pelo seu volume.

2.2 MATERIAIS UTILIZADOS E PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS

Para produção das argamassas, além das areias natural e de britagem, foi empregado cimento CP IV 32, da marca Votorantim e cal CH II, da marca Dagoberto Barcellos (DB). A figura 1 mostra os materiais empregados para produção das argamassas.

Figura 1: materiais empregados na produção das argamassas



Fonte: autor (2018).

O processo de moldagem das argamassas foi feito de acordo com a normativa ABNT NBR 13276:2002. Os materiais foram separados e pesados de acordo com o traço estabelecido de 1:2:6.

A relação a/c (água/cimento) empregada foi àquela necessária para obtenção de argamassas com índice de consistência de (255 ± 10) mm. Sendo assim, para a argamassa com areia de britagem a relação a/c foi de 1,5. Para a areia natural, essa relação a/c foi maior, ficando igual a 2,0. As figuras 2 e 3 mostram o ensaio de consistência sendo realizado.

Figura 2: materiais separados para produção das argamassas



Fonte: autor (2018).

Figura 3: ensaio de consistência das argamassas.



Fonte: autor (2018).

O ensaio para avaliação da consistência das argamassas foi realizado segundo a NBR 13276:2002. Após o ensaio foram produzidos os corpos de prova, de 5x10cm para ensaio de resistência à compressão, seguindo a ABNT NBR 13281/2005, e placas de 30cm, para avaliação da condutibilidade térmica dos materiais.

2.3 AVALIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA

Para a avaliação da condutividade térmica, foi utilizado um arduino e um software (algoritmo desenvolvido em Python). Este dispositivo segue a técnica do fio quente superficial, a qual é uma variante da técnica de fio quente paralelo.

Para a coleta dos dados foi utilizado um sistema de aquisição onde as temperaturas são aferidas através de quatro ntc's (negative temperature coeficiente) de 10 k Ω calibrados para um intervalo de temperatura de 5°C a 100°C. Um fio de Kanthal, com 0,2 mm de diâmetro, foi utilizado como fio quente. Uma corrente elétrica foi aplicada no fio, aquecendo-o através do efeito Joule. Esta corrente elétrica é gerada por uma fonte de potência (6V e 1,5A).

3 RESULTADOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A tabela 1 apresenta os resultados obtidos durante a análise granulométrica das areias natural e de britagem. A partir desses resultados verificou-se que o módulo de finura da areia natural é de 4,56, sendo assim considerada uma areia muito grossa, e da areia de britagem 3,16, classificando-se como uma areia média. A dimensão máxima característica de ambas as areias foi de 9,5mm.

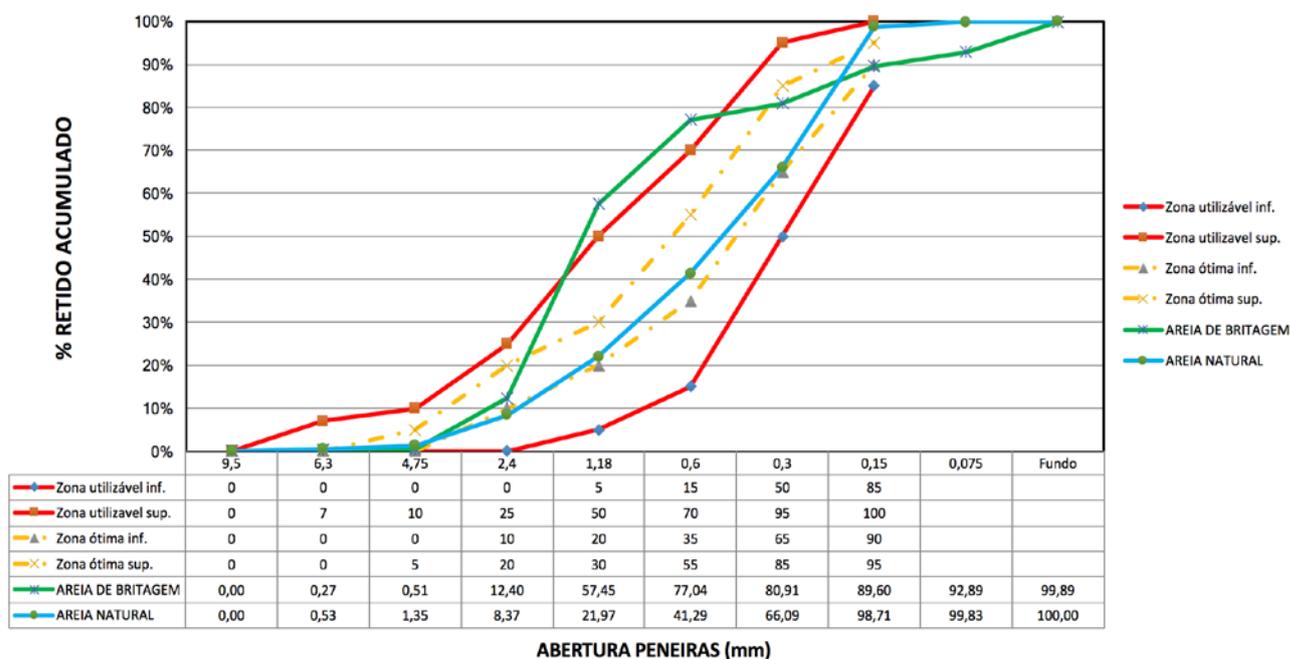
Tabela 1: porcentagem retido acumulado das areias.

% RETIDO ACUMULADO		
PENEIRAS	BRITAGEM	NATURAL
9,5	0,00	0,00
6,3	0,00	1,00
4,75	1,00	1,00
2,4	12,00	8,00
1,18	57,00	22,00
0,6	77,00	41,00
0,3	81,00	66,00
0,15	90,00	99,00
0,075	93,00	99,00
FUNDOS	100,00	100,00

Fonte: o autor

A figura 4 mostra a curva de distribuição granulométrica das areias e a tabela 2 apresenta os resultados de massa específica e unitária de ambos os agregados estudados.

Figura 4: curva granulométrica dos agregados



Fonte: autor (2018).

Tabela 2: massa específica e Massa unitária das areias.

AREIA	MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)	MASSA UNITÁRIA (g/dm ³)
BRITAGEM	2,84	1,71
NATURAL	2,57	1,63

Fonte: autor (2018).

Conforme pode ser observado na Figura 4, a areia de britagem não se enquadra dentro da faixa utilizável da NBR 7211:2005, ao contrário da areia natural, que está na faixa ótima. Entretanto, o resíduo da britagem foi empregado da maneira como foi obtido.

Como já era esperado, as massas específica e unitária da areia de britagem são maiores, ou seja, trata-se de um material mais pesado e com maior compacidade devido ao empacotamento proporcionado pela grande quantidade de finos presentes.

3.2 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DAS ARGAMASSAS

Os resultados do ensaio de resistência à compressão das argamassas podem ser visualizados na tabela 3.

Tabela 3: resistência à compressão das argamassas (MPa)

Tipo de agregado	
Areia natural	Areia de britagem
4,73	4,83
3,78	4,76
4,01	4,78
4,40	4,60
4,6	4,77
Média 4,30	Média 4,75

Fonte: autor (2018).

A resistência à compressão média da argamassa produzida com areia natural é de 4,30MPa e para a areia de britagem a resistência obtida foi de 4,75MPa, ou seja, a argamassa com areia de britagem mostra-se mais resistente que a argamassa com

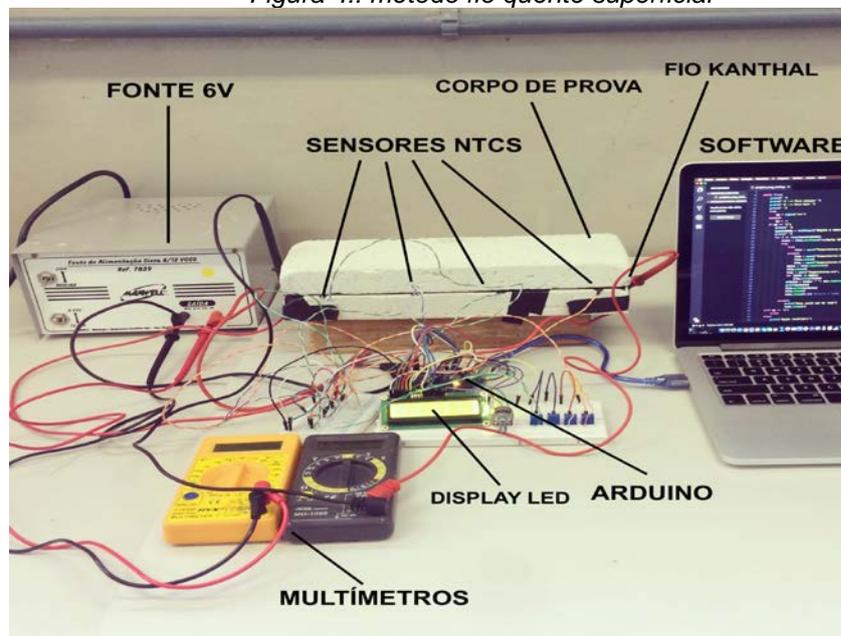
areia natural. Ambas as argamassas atendem as resistências mínimas requeridas pela NBR 13281/2005.

A maior resistência obtida com o resíduo de britagem deve-se à relação a/c empregada, que foi menor para essa argamassa. Além disso, em função das características da areia de britagem, que possui grãos mais angulosos, segundo o que relata a literatura Lodi (2006), ocorre maior travamento entre os grãos de agregado e a pasta de cimento, bem como, devido empacotamento granulométrico promovido pela areia de britagem, em função da quantidade de finos, que nesta areia é bem maior.

3.3 AVALIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DAS ARGAMASSAS

Conforme descrito no item 2.3, a avaliação da condutibilidade térmica foi realizada pelo método do fio quente. A figura 4 mostra o princípio de funcionamento do método.

Figura 4:: método fio quente superficial



Fonte: o autor (2018).

Para determinação da condutividade térmica, uma fonte 6V faz passar uma corrente elétrica constante através do fio kanthal que é aquecido através dos ntc

(sensores de temperatura) onde registra-se o aumento de temperatura no material e os dados são enviados pelo arduino. (FAVARETTO, 2018). Um algoritmo em Python salva os resultados em um arquivo .txt, onde os dados são importados e interpretados no Excel. Os valores de tensão e corrente são aferidos por 2 multímetros no momento do ensaio. A condutividade térmica, é calculada através da Equação 1.

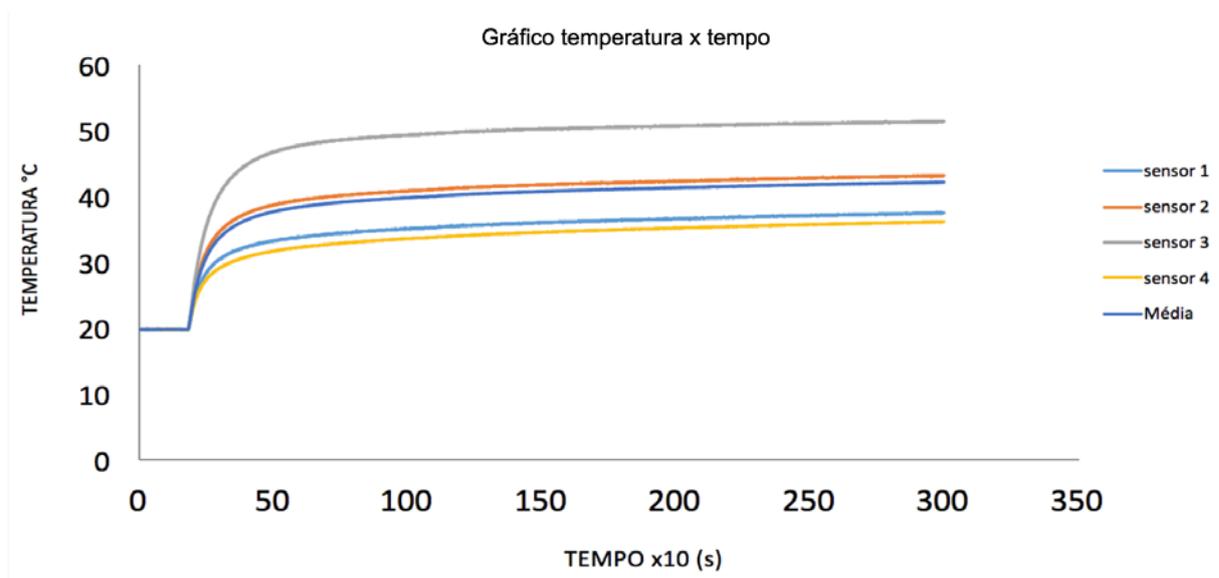
$$\lambda = \frac{U \cdot i}{4\pi \cdot l} \times \frac{\Delta \cdot \ln(t)}{\Delta T}$$

Equação 1: condutividade térmica

Onde λ = condutividade térmica, U = diferença de potencial elétrico, i = intensidade da corrente elétrica, l = comprimento do fio, t = tempo, ΔT = temperatura.

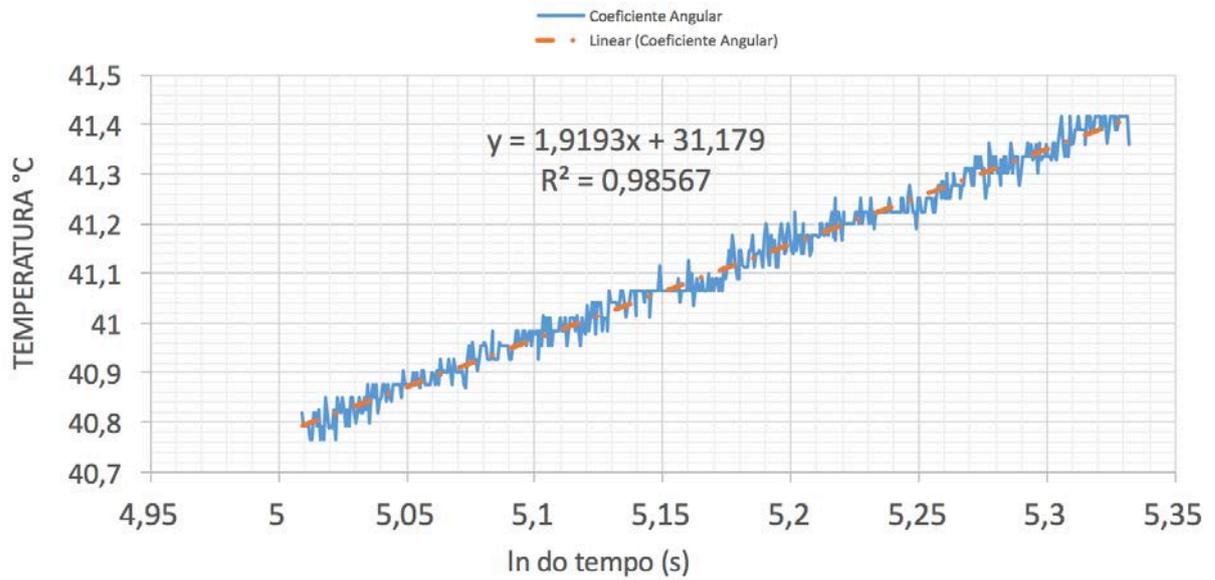
O tempo de ensaio foi de 5 minutos, onde os sensores aferiram 10 leituras de temperatura por segundo, ou seja, em uma frequência de 10hz, totalizando 3000 leituras para cada sensor, totalizando 12000 dados analisados. As figuras 5, 6, 7 e 8 mostram os resultados obtidos para cada argamassa.

Figura 5: gráfico temperatura x tempo argamassa convencional



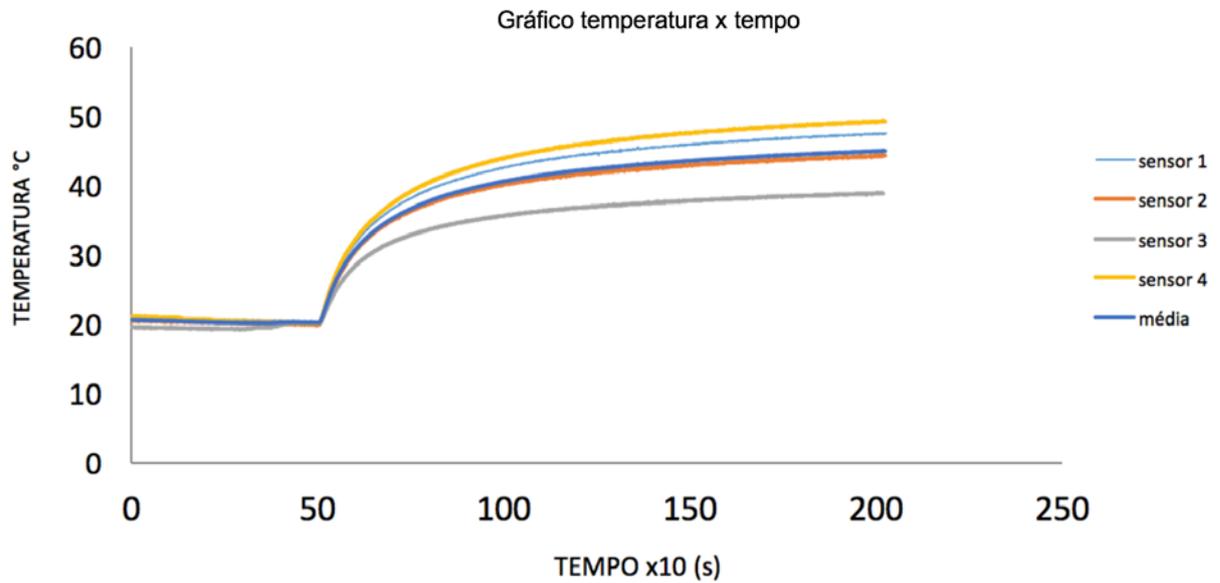
Fonte: autor (2018).

Figura 6: gráfico coeficiente angular da reta (y) da argamassa convencional



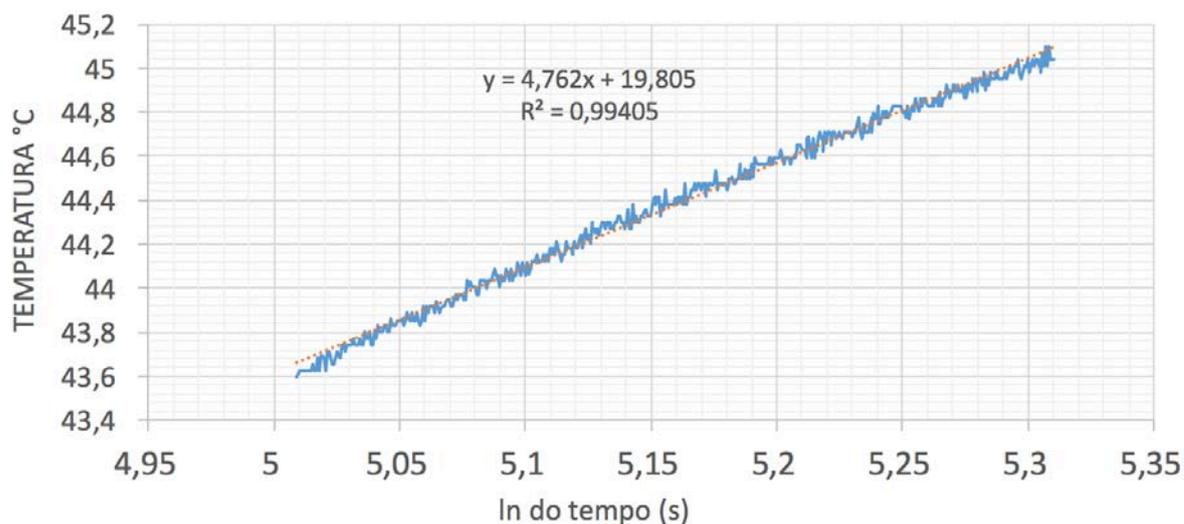
Fonte: autor (2018).

Figura 7: gráfico temperatura x tempo argamassa de britagem



Fonte: autor (2018).

Figura 8:: gráfico coeficiente angular da reta (y) da argamassa de britagem.



Fonte: autor (2018).

Através dos valores do coeficiente angular y onde AB = argamassa de britagem e Ac = argamassa convencional, obtemos os seguintes resultados de condutividade térmica descritos na tabela 4.

Tabela 4: Condutividade térmica

COND. TÉRMICA	AB	AC
Tensão (U)	5,92	5,92
Corrente (I)	1,49	1,49
Coef. (y)	4,76	1,92
Comprimento (m)	0,3	0,3
K (W/m.k)	0,49	1,22

Fonte: autor (2018).

A argamassa convencional obteve um valor de 1,22 W/m.k, onde a normativa ABNT NBR 15575 estabelece como valor padrão 1,15 W/m.k. Já a argamassa de britagem apresentou um valor de 0,49 W/m.k, ou seja, mostrou-se com um comportamento superior de desempenho térmico.

A partir dos resultados obtidos é possível concluir que a areia de britagem propicia a obtenção de argamassas com melhor desempenho térmico, sendo que, nas medições feitas no presente estudo o resultado da argamassa contendo areia de britagem 248% superior à areia natural.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos resultados obtidos, podemos concluir que ambas argamassas atendem a resistência à compressão requerida por norma, inclusive, para o traço estabelecido, com resultados bem superiores ao mínimo, que é de 0,2MPa. A argamassa produzida com areia de britagem apresentou maior resistência do que àquela produzida com areia natural, isso ocorreu em função da menor relação a/c e do empacotamento granulométrico propiciado pela areia de britagem, bem como do travamento devido aos grãos desse insumo serem mais angulosos.

No que diz respeito à condutibilidade térmica também foram observados melhores resultados na argamassa contendo o resíduo de britagem. Isso demonstra que ao aplicar uma argamassa com agregado de britagem para revestir superfícies é possível contribuir para o melhor desempenho térmico das edificações.

Os resultados apresentados neste estudo terão continuidade, a fim de que se passa avaliar outras propriedades das argamassas contendo areia de britagem, tais como: resistência à tração na flexão, resistência de aderência, absorção de água e absorbância, a fim de estudar, também o desempenho acústico desse material.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam agradecimento à IMED pela disponibilidade de infraestrutura de laboratórios e materiais para realização desta pesquisa, bem como ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pela bolsa concedida.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 1172**: agregado para concreto: especificação. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR NM 26**: agregado: amostragem. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 27**: agregados: redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 52**: agregado miúdo: determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 13276**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 7215**: cimento portland: determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 15575**: edificações habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 13281**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 7211**: agregado para concreto: especificação. Rio de Janeiro, 2005.

SANTOS, W. N. dos. **O método de fio quente: técnica em paralelo e técnica de superfície**. Departamento de Engenharia de Materiais - DEMa –Universidade Federal de S. Carlos – UFSCar,2002

FAVARETTO, Patrícia. **Avaliação do uso de aditivos e resíduos da construção e demolição no desenvolvimento de concreto celular espumígeno**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil). –IMED – Faculdade Meridional, 2018.

SILVA, N. G. BUEST, G. CAMPITELI, V. C. **Argamassas com areia britada: influência dos finos e da forma das partículas**. In: VI Simpósio Brasileiro de Argamassas, I International Symposium on Mortars Technology. Florianópolis, 2005.

LODI, V. H. VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DE AREIA DE BRITAGEM EM CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND NA REGIÃO DE CHAPECÓ-SC. 2006. Dissertação (Mestrado) -Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.