

## **Avaliação da condutividade térmica de concretos leves com argila expandida**

SACHT, H.M.<sup>I</sup>; ROSSIGNOLO, J.A.<sup>II</sup>; SANTOS, W.N.<sup>III</sup>

<sup>I</sup> Laboratório de Física das Construções - LFTC - Universidade do Minho CP: 4800-058, Guimarães, Portugal.

e-mail: [hmsacht@sc.usp.br](mailto:hmsacht@sc.usp.br)

<sup>II</sup> Laboratório de Construção Civil - LCC - SAP/EESC/USP CP: 13566-590, São Carlos, SP.

e-mail: [jarossig@sc.usp.br](mailto:jarossig@sc.usp.br)

<sup>III</sup> Departamento de Engenharia de Materiais - DEMA - UFSCar CP: 13565-905, São Carlos, SP.

e-mail: [dwns@power.ufscar.br](mailto:dwns@power.ufscar.br)

---

### **RESUMO**

Este trabalho se enquadra em um projeto de pesquisa mais amplo de desenvolvimento de concreto leve para aplicação no sistema construtivo de painéis monolíticos de concreto moldados *in loco*, tendo como referencial, além dos requisitos técnicos de trabalhabilidade, resistência mecânica e durabilidade, a influência do concreto no desempenho do conforto térmico da edificação. Especificamente neste trabalho, será apresentada a avaliação da influência do teor de argila expandida no valor da condutividade térmica do concreto leve destinado a este sistema construtivo. Foram avaliados os valores da condutividade térmica de concretos leves com massa específica variando entre 1216 a 2364 Kg/m<sup>3</sup>, produzidos com argila expandida em substituição ao agregado graúdo natural (basalto). A condutividade térmica dos concretos foi determinada utilizando o “Método do Fio Quente Paralelo” e variou entre 0,54 e 1,80 W/mK.

**Palavras-chaves:** Concreto leve, condutividade térmica, método do fio quente paralelo.

---

### **Evaluation of thermal conductivity of lightweight concrete with expanded clay**

#### **ABSTRACT**

This work fits in a research project on the broader development of lightweight concrete for application in the construction system of cast-in-place monolithic panels of concrete and having as reference the influence of the concrete in the performance of the thermal comfort of the construction. Specifically, this work will present the evaluation of the influence of the expanded clay on the value of the thermal conductivity of the lightweight concrete used in this constructive system. The values of thermal conductivity of lightweight concrete with densities ranging from 1216 to 2364 kg/m<sup>3</sup>, produced with expanded clay to replace the natural coarse aggregate (basalt), were evaluated. The thermal conductivity of the concrete was determined using the “Method of the Parallel Hot Wire” and varied between 0.54 and 1.80 W/mK.

**Keywords:** Lightweight concrete, thermal conductivity, hot wire parallel technique.

---

## **1 INTRODUÇÃO**

A viabilização da redução do déficit habitacional brasileiro deve ser resultado, além de políticas públicas adequadas, de projetos para desenvolvimento de habitações com baixo custo e desempenho satisfatório. Tais projetos devem priorizar aspectos como durabilidade do imóvel; infra-estrutura e serviços; conforto e segurança para o morador; redução de impacto ambiental, assim como a utilização de tecnologias construtivas adequadas.

A tecnologia construtiva empregada tem um papel fundamental na viabilização de habitações com baixo custo e níveis satisfatórios de desempenho. Dentre os vários sistemas construtivos empregados

atualmente na execução de habitações de interesse social no Brasil, destaca-se o sistema construtivo em painéis monolíticos de concreto moldados *in loco*, que pode ser empregado tanto em edificações térreas como de múltiplos pavimentos.

Esse sistema construtivo é utilizado no Brasil desde os anos 80 e, em linhas gerais, pode ser descrito como um sistema construtivo em que as vedações das edificações, também com função estrutural, são executadas no local de utilização empregando o concreto armado. Na execução das vedações utiliza-se fôrma dupla, na conformação desejada dos painéis, com as esquadrias e parte dos sistemas elétrico e hidráulico, como tubulações, quadros, registros e caixas de passagem, já posicionados no local de utilização no interior da fôrma (Figuras 1 e 2).



**Figura 1:** Fôrma das vedações montadas.



**Figura 2:** Fôrma montada: detalhe das instalações elétricas já embutidas.

Neste sistema construtivo o concreto tem um papel fundamental na execução e no desempenho dos painéis de vedação e, usualmente, são utilizados o concreto tradicional e o concreto leve celular. Porém, o concreto leve estrutural (com agregados leves) apresenta-se como um material alternativo para aplicação no sistema construtivo de painéis monolíticos, por apresentar massa específica, isolamento térmico e acústico compatível com o obtido em concretos celulares; e resistência mecânica e durabilidade semelhante a dos concretos tradicionais [1-4].

Os concretos leves se caracterizam por apresentarem massa específica seca abaixo de 2000 kg/m<sup>3</sup> [5] e quando comparados aos concretos convencionais apresentam também mudanças significativas em algumas propriedades, como a trabalhabilidade, resistência mecânica, módulo de deformação, retração e fluência, além da redução da espessura da zona de transição entre o agregado e a matriz de cimento. As propriedades térmicas dos concretos leves são significativamente diferentes das observadas nos concretos tradicionais, principalmente devido ao ar aprisionado na estrutura celular dos agregados leves, como a argila expandida, que reduz a transferência e a absorção de calor em relação aos agregados tradicionais [5].

Diante desta possibilidade de aplicação do concreto leve anteriormente apresentada, mostra-se necessário conhecer suas propriedades térmicas para uma correta aplicação. Dentre essas propriedades inclui-se a condutividade térmica, uma das propriedades físicas mais importantes do ponto de vista de cálculo térmico de um material. Os valores da mesma são fornecidos pela NBR 15220, norma de Desempenho Térmico de Edificações [6], porém a norma determina valores em intervalos de massa específica significativos (Tabela 1), sendo, portanto necessária a determinação exata destes valores, de forma a permitir uma maior precisão na execução de simulações computacionais de habitação de interesse social utilizando estes dados.

**Tabela 1:** Valores da condutividade térmica de acordo com a NBR 15220/2005 [6].

| Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> ) | Condutividade Térmica ( $\lambda$ ) (W/mK) | OBS  |
|---------------------------------------|--|--|
| 2200 - 2400                           | 1,75                                       | -  |
| 1600 - 1800                           | 1,05                                       | Dosagem de cimento > 300 kg/m <sup>3</sup> densidade de massa aparente |
| 1400 - 1600                           | 0,85                                       |  |
| 1200 - 1400                           | 0,70                                       |  |
| 1000 - 1200                           | 0,46                                       |  |

A partir desses fatores, o presente artigo tem como objetivo a determinação da condutividade térmica dos concretos com agregados leves, com massa específica entre 1200 e 2400 kg/m<sup>3</sup>, utilizando o método do fio quente paralelo. Esses dados foram utilizados para a realização de simulações computacionais para avaliação do desempenho térmico de edificações com vedações em paredes maciças de concreto, utilizando o software Arqitrop versão 3.0, cujos resultados especificamente [7] não serão tratados neste artigo. Neste trabalho será avaliada, a influência do teor de argila expandida nos valores da condutividade térmica dos concretos leves destinados ao sistema construtivo de painéis monolíticos moldados *in loco*.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a produção dos concretos leves, destinados à execução dos painéis monolíticos moldados *in loco*, foi utilizado o cimento Portland composto com escória de alto forno (CPII E32), fabricado pela empresa CIMINAS S.A. (grupo Holdercim), com massa específica de 2,96g/cm<sup>3</sup> e área específica Blaine de 4.023cm<sup>2</sup>/g. Foi empregado também Metacaulim, cuja massa específica é de 2,65 g/cm<sup>3</sup>, área específica em torno de 327.000cm<sup>2</sup>/g e teor de SiO<sub>2</sub> de 51,6%. Os agregados utilizados foram areia natural quartzosa, brita basáltica 01 e dois tipos de argila expandida, Cinexpan 0500 (Dmax= 5,0mm) e Cinexpan 1506 (Dmax=12,5mm) (Tabela 2). O superplastificante empregado foi do tipo Glenium 51 (poli-carboxilato) com massa específica entre 1,067 a 1,107g/cm<sup>3</sup> e teor de sólidos entre 28,5 a 31,5%. A tabela 3 mostra a quantidade de materiais utilizada para a produção de 1m<sup>3</sup> de concreto.

**Tabela 2:** Características dos agregados.

| Agregado                                    | D <sub>max</sub><br>(mm)<br>NBR721<br>1 | Massa<br>específica<br>(g/cm <sup>3</sup> )<br>NBR9776 | Massa<br>unitária<br>(g/cm <sup>3</sup> )<br>NBR7251 | Absorção<br>de água<br>(% em massa) |       |
|---|---|--|--|-------------------------------------|-------|
|   |   |  |  | 30<br>min.                          | 24 hs |
| Areia                                       | 2,4                                     | 2,63   | 1,49   | -                                   | -     |
| Brita basáltica 01                          | 19,0                                    | 2,87   | 1,32   | -                                   | -     |
| Argila expandida<br>0500<br>(CINEXPAN 0500) | 5,0                                     | 1,51   | 0,86   | 1,8                                 | 6,0   |
| Argila expandida<br>1506<br>(CINEXPAN 1506) | 12,5                                    | 1,11   | 0,59   | 2,7                                 | 7,0   |

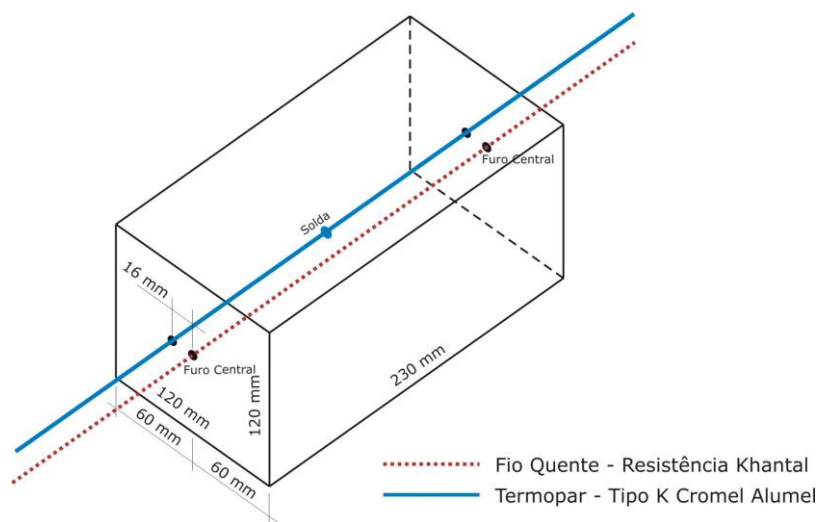
**Tabela 3:** Tabela quantitativa dos materiais utilizados para 1 m<sup>3</sup> de concreto.

| Traço        | CPII E<br>32 | Metacaulin | Areia              | Brita<br>01 | Arg.<br>Exp.<br>0500 | Arg.<br>Exp.<br>1506 | Glenium | Água | a/<br>aglo | Massa<br>Específica<br>Seca aos<br>28 dias<br>(kg/m <sup>3</sup> ) |
|--------------|--------------|------------|--------------------|-------------|----------------------|----------------------|---------|------|------------|--|
| (1)          | 310,68       | 31,07      | 894,77             | 1093,6      | 0,00                 | 0,00                 | 2,33    | 178  | 0,52       | 2364,0   |
| (2)          | 312,06       | 31,21      | 858,15             | 686,52      | 0,00                 | 171,63               | 2,34    | 172  | 0,50       | 2014,0   |
| (3)          | 313,38       | 31,34      | 902,53             | 300,84      | 0,00                 | 300,84               | 2,35    | 192  | 0,55       | 1781,0   |
| (4)          | 307,77       | 30,78      | 899,91             | 0,00        | 0,00                 | 423,49               | 2,31    | 212  | 0,62       | 1589,0   |
| (5)          | 307,88       | 30,79      | 95,44              | 0,00        | 362,68               | 496,30               | 2,31    | 200  | 0,59       | 1216,0   |
| <i>Slump</i> |              |            | <b>160 ± 10 mm</b> |             |                      |                      |         |      |            |  |

Para cada dosagem foram moldados 3 corpos-de-prova prismáticos (Figura 3) com 120mm de largura, 230mm de comprimento e 120mm de altura para o ensaio de condutividade térmica e dois corpos-de-

prova cilíndricos de 100mm de diâmetro e 200mm de altura foram utilizados para a determinação da massa específica [8].

O molde dos corpos-de-prova prismáticos foi construído em madeira compensada desmontável especialmente para esta finalidade, com capacidade para produzir 3 blocos. Os fios foram posicionados nas fôrmas de acordo com o esquema da Figura 3. O termopar cromel-alumel foi montado por meio de soldagem tipo MIG (*Metal Inert Gás*), cuja região fundida é protegida por um gás inerte, no caso argônio. Os fios foram passados pelos furos, antes da moldagem, e presos por conectores até a desforma.



**Figura 3:** Arranjo dos corpos-de-prova: técnica do fio quente paralelo.

Salienta-se que neste caso houve uma inovação no método de ensaio, pois para materiais refratários os corpos-de-prova utilizados eram 2 com metade do volume do utilizado neste caso. Para materiais refratários esses dois corpos-de-prova são sobrepostos e no corpo-de-prova inferior são feitos sulcos para o posicionamento do fio quente (resistência khantal) e o termopar (K cromel alumel). Após a colocação dos fios os sulcos são preenchidos com o próprio pó resultante [9-10]. Porém no caso dos corpos-de-prova de concreto, especificamente devido ao tamanho dos agregados (argila expandida) e homogeneidade do material, foi observado num ensaio teste que essa forma de obtenção dos resultados não estava condizendo com os valores indicados por norma [6], daí optou-se por moldá-los com os fios já inseridos, o que contribuiu para a obtenção dos resultados.

Após a preparação das formas e posicionamento dos fios foram então executados os conjuntos de amostras de acordo com os traços do concreto, cada conjunto com um total de 3 corpos-de-prova. As amostras foram feitas adicionando-se inicialmente, água à mistura agregado e cimento, até obter a consistência desejada (*slump*  $160 \pm 10$  mm). O concreto foi então colocado nas fôrmas de madeira e vibrado numa mesa vibratória por aproximadamente 90 segundos. Depois de vibrados, os corpos-de-prova foram cobertos com um plástico para evitar secagem rápida e deixados em repouso ao ar livre e à temperatura ambiente por 24 horas.

Após a desforma foram acondicionados em câmara úmida com temperatura de  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  e com umidade relativa de 95 % por um período de 7 dias. Após esse período, os corpos-de-prova foram expostos às condições ambientais do laboratório (temperatura de  $25 \pm 4^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $50 \pm 10\%$ ) com a finalidade de aproximar o teor de umidade às condições reais dos painéis de vedação das habitações, até a realização das análises experimentais, sendo aos 28 dias para a massa específica e aos 56 dias para a condutividade térmica. No dia de realização do ensaio, um corpo-de-prova prismático de cada traço foi colocado em estufa a  $100^\circ\text{C}$  por um período de 72 horas, para verificar as condições de umidade das mesmas, característica esta que exerce influencia nos valores de condutividade térmica.

## 2.1 Determinação da condutividade térmica pelo método do fio quente paralelo

### 2.1.1 Condutividade térmica ( $\lambda$ )

A condutividade térmica ( $\lambda$ ) é a propriedade do material que determina o fluxo de calor por condução que atravessa, na unidade de tempo, através de uma espessura unitária e de uma unidade de área do material, através de um gradiente de temperatura. Assume-se que as temperaturas de ambos os lados do

material, bem como a distribuição de temperatura em todo o material, são uniformes e constantes com o tempo (condições estáveis) [11]. Ou seja, é definida como “o fluxo de calor que passa, na unidade de tempo, através de uma parede com espessura unitária e dimensões suficientemente grandes para que fique eliminada a influência de contorno, quando se estabelece, entre os parâmetros dessa parede, uma diferença de temperatura unitária” [12].

Diz respeito à capacidade que um dado material possui em transferir calor, estando relacionada ao fluxo de calor por condução [13]. É um parâmetro físico importante na Engenharia Civil, por meio dele é possível estimar, por exemplo, o fluxo de calor através de uma parede. Considerando dois ambientes separados por um elemento, o calor é transmitido do ambiente mais quente por condução externa e radiação para a superfície da parede, atravessando-a por condutividade externa e radiação para o ambiente mais frio [14].

Esta propriedade está diretamente ligada à densidade do material, a matéria é sempre muito mais condutora que o ar contido em seus poros; à natureza química do material, os materiais amorfos são geralmente menos condutores que os cristalinos; e à umidade do material. A condutividade térmica também varia com a temperatura, porém no caso das temperaturas que ocorrem na construção pode ser considerado como uma característica de cada material [12].

A condutividade térmica ( $\lambda$ ) juntamente com o calor específico ( $c$ ) e difusividade térmica ( $\alpha$ ) são as propriedades físicas mais importantes do ponto de vista de cálculo térmico de um material. A determinação experimental da condutividade térmica apresenta algumas dificuldades e requer alta precisão na determinação dos fatores necessários para o seu cálculo. O Método do Fio Quente Paralelo utilizado neste trabalho é um método de medida de condutividade térmica para materiais refratários mais utilizado hoje em todo o mundo, tanto nos centros de pesquisa, quanto nos laboratórios industriais, onde a condutividade térmica é calculada a partir do transiente de temperatura gerado por uma fonte de calor ideal, infinitamente longa e fina num meio material infinito [10].

### 2.1.2 O método do fio quente paralelo

O Método do Fio Quente Paralelo consiste no cálculo da condutividade térmica a partir do gradiente de temperatura gerado por uma fonte de calor (tida como ideal, infinitamente longa e fina) num meio material de dimensões infinitas. No equipamento do fio quente em paralelo há dois fios, um sendo o central o fio quente (resistência de khantal DS) e o outro a 1,6 cm do central o termopar tipo K (cromel-alumel). A condutividade térmica do material é obtida por meio da aplicação de uma corrente contínua ao fio quente e, uma vez por segundo, aproximadamente, verifica-se o gradiente com o auxílio do termopar.

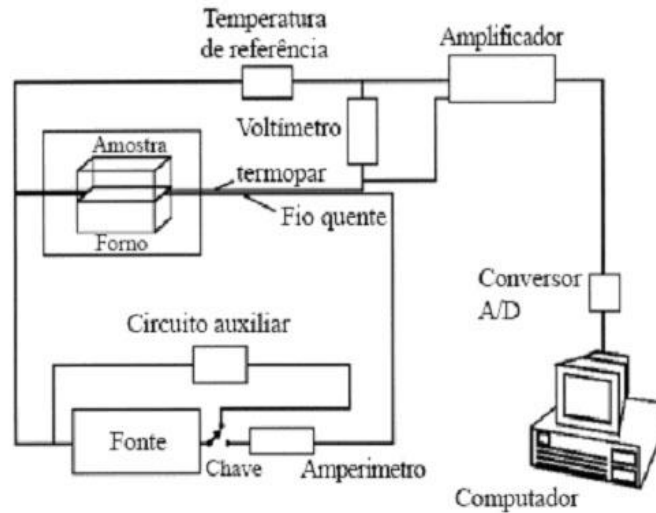
Essa técnica foi utilizada pela primeira vez por HAUPIN (1960) na determinação da condutividade térmica de materiais cerâmicos, seu trabalho foi a base para todas as variantes do método utilizadas hoje em todo mundo [9]. É muito utilizado na França, Japão e Alemanha e pouco utilizado nos Estados Unidos. No Brasil essa técnica foi introduzida por SANTOS [9] na determinação das propriedades térmicas de cerâmicas refratárias. Com este método é possível medir condutividades térmicas até aproximadamente o valor de 25 W/mK, o que cobre a maioria dos produtos refratários industriais [15].

Além disso, nessa técnica de medida o conceito de temperatura média entre a face quente e a face fria de uma amostra, utilizados nos cálculos dos métodos calorimétricos é eliminado, uma vez que o cálculo da condutividade é feito a uma dada temperatura fixa. Nesse método o gradiente de temperatura através da amostra é muito baixo, o que é sem dúvida outra virtude, uma vez que um método ideal de medida de condutividade térmica seria aquele capaz de medir essa propriedade segundo um gradiente de temperatura zero através da amostra. Entretanto, este método tem duas limitações: materiais condutores elétricos, e materiais de alta condutividade térmica, o que não é o caso do concreto leve em questão. A técnica de fio quente paralelo foi normalizada em 1978 pela norma DIN 51046-Parte 2 [10].

## 2.2 Execução do ensaio

O arranjo experimental para a execução do ensaio de determinação da condutividade térmica obedeceu ao esquema da Figura 4, onde se lê “Amostra” foi inserido o corpo-de-prova mostrado na figura anterior (Figura 3). Os corpos-de-prova foram moldados com os fios quente (resistência de khantal DS) e termopar tipo K (cromel-alumel) já posicionados no interior do corpo-de-prova, o que de certa forma facilitou para a obtenção dos resultados, apresentando uma melhor superfície de contato térmico (Figura 5).





**Figura 4:** Diagrama esquemático do Método do Fio Quente Paralelo [10].

Inicialmente foram solicitados os seguintes dados preliminares pelo software: nome da amostra, interessado, tipo de material (isolante ou não); tempo de ensaio (min); temperatura ambiente e da amostra (°C); tipo de termopar; resistência do fio (Ohms); densidade da amostra (kg/m<sup>3</sup>) e distância fio-termopar (m).



**Figura 5:** Corpo-de-prova sendo ensaiado.



**Figura 6:** Aparelhagem para aquisição dos dados.

A condutividade térmica do material foi obtida por meio da aplicação de uma corrente contínua ao fio quente (resistência de khantal DS). No equipamento (Figura 6), uma vez por segundo aproximadamente, verifica-se o gradiente de temperatura com o auxílio do termopar tipo K (cromel–alumel). Ao final do ensaio foram obtidos os seguintes dados: corrente na amostra (A), estimativa inicial, intervalo de tempo (s); e Resultados: temperatura de ensaio (°C), condutividade térmica ( $\lambda$ ), calor específico (J/kgK), difusividade térmica (m<sup>2</sup>/s) e coeficiente de correlação.

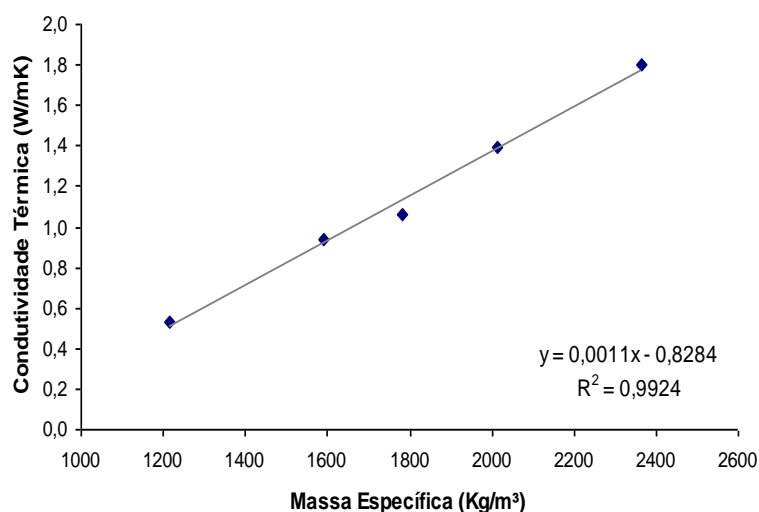
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 4 apresenta os valores de condutividade térmica, obtidos pelo método do fio quente paralelo, assim como os valores da massa específica e do teor de umidade dos corpos-de-prova. São apresentados também o desvio padrão para os resultados, determinado a partir dos três valores de condutividade térmica determinados para cada massa específica analisada.

**Tabela 4:** Valores da condutividade térmica, massa específica e teor de umidade.

| Traço | Massa Específica Seca aos 28 dias (kg/m <sup>3</sup> ) | Teor de Umidade dos Corpos-de-prova (%) | Condutividade Térmica $\lambda$ (W/mK) | Desvio Padrão Condutividade Térmica $\lambda$ |
|-------|--|---|--|---|
| (1)   | 2364,0   | 2,06                                    | 1,80                                   | 0,02  |
| (2)   | 2014,0   | 2,17                                    | 1,39                                   | 0,11  |
| (3)   | 1781,0   | 2,84                                    | 1,06                                   | 0,03  |
| (4)   | 1589,0   | 4,56                                    | 0,94                                   | 0,10  |
| (5)   | 1216,0   | 4,69                                    | 0,54                                   | 0,23  |

A Figura 7 mostra o aumento da condutividade térmica de acordo com o aumento de massa específica, ou seja, os valores da condutividade térmica são influenciados pelo valor da massa específica do concreto, especificamente pelo teor de argila expandida.

**Figura 7:** Condutividade Térmica.

Os valores de condutividade térmica, considerando o intervalo de dados estudados, neste caso particularmente, obedeceram a uma função linear. A partir da linha de tendência traçada foi possível determinar os valores de condutividade térmica para concretos leves com argila expandida que estão nesse intervalo de massa específica. Como mencionado anteriormente, para cada massa específica, foram ensaiados 3 corpos-de-prova prismáticos e a partir de uma média, foram determinados os valores da condutividade térmica. Como o maior interesse era obter esse valor para massas específicas exatas (1600, 1800, 2000, 2200 e 2400 kg/m<sup>3</sup>), por meio da função linear foi possível determinar os valores de condutividade térmica para serem utilizados nas simulações computacionais. Observou-se também que os valores encontrados no ensaio estão bem próximos aos valores indicados pela NBR 15220 [6], mostrados anteriormente na tabela 1.

#### 4 CONCLUSÕES

Os valores de condutividade térmica obtidos pelo método do fio quente paralelo estão próximos aos recomendados pela NBR 15220 [6]. Estes representam maior precisão na especificação da massa específica do concreto para o sistema de painéis monolíticos moldados *in loco*.

Observou-se também que a partir da diminuição dos valores de massa específica, devido à substituição de brita basáltica por argila expandida, houve um decréscimo da condutividade térmica. Isso se explica principalmente devido ao ar aprisionado na estrutura celular dos agregados leves fazendo com que seja reduzida a transferência e a absorção de calor.

Com a determinação destes valores de condutividade térmica ( $\lambda$ ), juntamente com os valores de calor específico ( $c$ ), será possível para este intervalo de massa específica, avaliar o comportamento dos painéis executados com concreto leve nos aspectos referentes ao conforto térmico. Essa avaliação será feita por meio de simulação computacional de habitações de interesse social e ocorrerá de forma mais precisa com a utilização destes resultados. Este estudo foi de extrema importância tanto para o conhecimento das características térmicas dos concretos leves produzidos com argila expandida, quanto para a sua posterior utilização em simulação computacional do conforto térmico de habitações de interesse social executadas para o sistema construtivo de painéis monolíticos moldados *in loco*. Comprova também que o método pode ser empregado para outros materiais diferentes das cerâmicas refratárias e, além disso, salienta-se que a pequena inovação incorporada no método de ensaio (a moldagem dos corpos-de-prova com os fios já inseridos), contribuiu para a obtenção dos resultados.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo apoio financeiro a esta pesquisa; à empresa CINEXPAN S.A. pelo fornecimento da argila expandida utilizada neste trabalho, ao LCC – Laboratório de Construção Civil e ao NETEF – Núcleo de Engenharia Térmica e Fluidos da EESC/ USP.

#### 6 BIBLIOGRAFIA

- [1] BERNER, D.E., “High ductility, high strength, lightweight aggregate concrete”, In: *ACI Symposium on Performance of Structural Lightweight Concrete*, Dallas, Texas, 1991.
- [2] ROSSIGNOLO, J.A., AGNESINI, M.V.C., “Mechanical properties of polymer-modified lightweight aggregate concrete”, *Cement and Concrete Research*, v. 32, n. 3, pp. 329-334, 2002.
- [3] SLATE, F.O., NILSON, A.H., MARTINEZ, S., “Mechanical properties of high-strength lightweight concrete”, *ACI Materials Journal*, v. 83, n. 4, pp. 606-613, 1986.
- [4] ZHANG, M.H., GJØRV, O.E., “Mechanical properties of high-strength lightweight concrete”, *ACI Materials Journal*, v. 88, n. 3, pp. 240-247, 1991.
- [5] ROSSIGNOLO, J.A., “Concreto leve estrutural: Produção, propriedades, microestrutura e aplicações”, 1 ed., São Paulo, Ed. PINI, 2009.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), NBR 15220, *Desempenho térmico de edificações*, Rio de Janeiro, 2005.
- [7] SACHT, H.M., *Painéis de vedação de concreto moldados in loco: avaliação de desempenho térmico e desenvolvimento de concretos*, Dissertação de M.Sc, Departamento Arquitetura e Urbanismo – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Paulo, SP, Brasil, 2008.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), NBR 9778, *Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica*, Rio de Janeiro, 1987.
- [9] SANTOS, W.N., *Contribuição ao estudo da condutividade térmica do material cerâmico concreto refratário utilizando a técnica de fio quente com ajuste por regressão não linear*, Tese D.Sc., Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares USP, São Paulo, SP, Brasil, 1988.



- [10] SANTOS, W.N., “O método do fio quente: técnica em paralelo e técnica de superfície”, *Cerâmica*, v. 48, n. 306, pp. 86-91, Abril-Junho, 2002.
- [11] GIVONI, B., *Man climate and architecture*, 2 ed., London, Applied Science, 1976.
- [12] FROTA, A.B., SCHIFFER, S.R., *Manual de conforto térmico*, 7ª. ed., v. 1, São Paulo, Studio Nobel, 2005.
- [13] ANDRADE, J.J.O., “Propriedades físicas e mecânicas dos materiais”, In: ISAIA, G.C. (ed) *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais*, 1 ed., v. 1, São Paulo, IBRACON, 2007.
- [14] COSTA, E.C., *Física aplicada à construção: conforto térmico*, São Paulo, Edgard Blücher, 2003.
- [15] SANTOS, W.N., CINTRA FILHO, J.S., “Aplicação da técnica do fio quente na determinação das propriedades térmicas de polímeros”, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 15, n. 4, pp. 289-295, 2005.