Pesquisa do fosfogesso como isolante térmico utilizado na indústria

Hugo Vicente da Silva [1], Deovaldo de Moraes Jr[2] e Aldo Ramos Santos[2]

[1] Aluno do Curso de Mestrado na Universidade Santa Cecília, Santos, BR,
[2] Professor do Curso de Mestrado na Universidade Santa Cecília, Santos, BR.

O fosfogesso é o subproduto primário para produção de ácido fosfórico pelo processo por via úmida, através da rocha fosfática, para a produção de fertilizante. Como se trata essencialmente de um sulfato de cálcio, é denominado de fosfogesso. Para cada tonelada de ácido fosfórico produzido, são geradas cerca de 4 a 5 toneladas de fosfogesso. Assim, a produção de fertilizantes fosfatados gera grandes volumes de fosfogesso que são estocados em grandes pilhas a céu aberto. Muitas pesquisas têm sido desenvolvidas com base na possibilidade do uso do fosfogesso como material para diversas aplicações. Este trabalho objetiva determinar a constante de condutividade térmica (k) do fosfogesso visando a sua utilização como isolante térmico tanto na construção civil como no setor industrial. Para tanto, um experimento foi realizado resultando em uma comparação entre os coeficientes de condutividade térmica (k) do fosfogesso com outros materiais termoisolantes comerciais.

Palavras chave

Fosfogesso, ácido fosfórico, isolante térmico, condutividade térmica, método de transferência de calor por condução em parede plana.

Research of the phosphugessum as thermal-isolating material industrial uses

Phosphogypsum is the primary by-product of the wet-acid process for producing phosphoric acid from phosphate rock for obtaining fertilizer. As it is largely a calcium sulfate it has been given the name phosphogypsum. For every ton of phosphoric acid, some four to five tons of phosphogypsum are also manufactured. So, phosphate production generates very large volumes of phosphogypsum, which is stored in huge piles called "stacks" outdoors. Many researches have been developed due to the possibility of the use of phosphogypsum as matter for several industrial uses. This paper is up to determine the constancy of the thermal conductivity (k) of the phosphogypsum in order to evaluate it as a thermo-isolating material to be used in large scale by industry as well to be used in building sectors. For this purpose, one experiments has been tested resulting in a comparison among the thermal conductivity coefficients (k) of the phosphogypsum to other commercial thermal-isolating materials.

Key-Word
Phosphogypsum, phosphoric acid, thermal isolator, thermal conductivity, method of heat transfer by conduction in flat wall.

INTRODUÇÃO

Em apenas dois séculos, e com a chegada da pós-modernidade, o planeta passou pelas mais rápidas e diversas revoluções industriais e tecnológicas, redesenhando o panorama econômico e social pelo desenvolvimento de altas tecnologias, dando origem ao progressivo conforto humano e, ao mesmo tempo a impactos ambientais. Dentre esses impactos, a geração de resíduos químicos se compraz em grande risco para a natureza, como é o caso do fosfogesso.

O fosfogesso composto pelo sulfato de cálcio dihidratado é frequentemente referenciado na literatura técnica como gesso químico, resíduo de gesso e gesso sintético, entre outras denominações. Ele é um subproduto que ocorre quando da obtenção de ácido fosfórico (P_2O_5) para produção de fertilizante agrícola (SANTOS, 2001).

O problema se agiganta, pois esse subproduto é gerado em grandes quantidades e se acumula a céu aberto em montes ou pilhas. Esse acúmulo é considerado altamente poluente, e está atingindo níveis preocupantes, comprometendo o meio ambiente e a qualidade de vida na região onde é descartado (PINTO, 2007).

As pesquisas sobre o fosfogesso têm sido feitas principalmente no tocante ao seu aproveitamento em atividades como agricultura e construção civil, como forma de reduzir os estoques existentes e evitar a formação de novos estoques (MATOS, 2001; PET, 2012; PINTO, 2007; TOMAZ, 2006).

A pesquisa proposta nesse artigo busca uma forma de reaproveitamento do fosfogesso como material a ser utilizado como possível isolante térmico na indústria.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para determinação da condutividade térmica do fosfogesso, foi realizado um experimento voltado para a condução de calor através de parede plana e cilíndrica. O resultado esperado é obter o coeficiente de condutividade térmica do fosfogesso e compará-lo com outros materiais isolantes térmicos. O protótipo foi projetado, fabricado e montado no Laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecilia (UNISANTA), os quais serão descritos a seguir.

Para a parede plana, o protótipo consistiu de uma caixa de madeira revestida internamente por uma camada isolante de lã de rocha de ¾ pol. de espessura e, sobrepondo esta, uma camada de hidro-silicato de cálcio de ½ pol. de espessura.

As extremidades da caixa de madeira foram fechadas com uma chapa de alumínio de 2 mm de espessura e, na parte superior, foi colocada uma tampa de madeira revestida também internamente com as camada de isolantes citadas.

No meio da caixa de madeira, foi instalada uma resistência elétrica de dimensão retangular de 75 x 45 mm (LxH) – potência elétrica 150 Watts, frequência 60 Hz, tensão 220 Volts.

Tomou-se o cuidado de utilizar, neste experimento, um triplo isolante térmico (lã de rocha) para evitar a fuga de calor durante o desenvolvimento experimental, proporcionando assim a confiabilidade de que todo o fluxo calorífico gerado pela fonte quente, no caso a resistência elétrica, percorreria o material da amostra garantindo assim a integridade da aplicação da 1ª Lei de Fourier. A Figura 01 ilustra o experimento de parede plana.

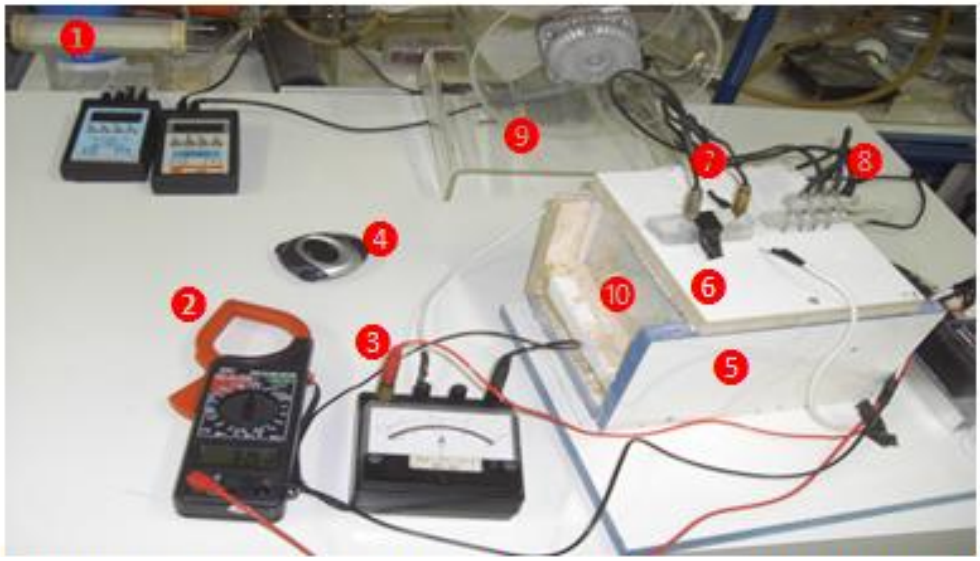

Figura 01 – Ilustração geral dos elementos que compõem o primeiro experimento sendo: (1) termopares tipo J; (2) aparelho multiteste para medição da voltagem; (3) aparelho para medição da corrente elétrica; (4) cronômetro; (5) caixa de madeira do dispositivo; (6) tampa da caixa de madeira do dispositivo; (7) dois termopares para medição da temperatura de um dos lados do dispositivo; (8) quatro termopares para medição da temperatura do lado oposto; (9) ventilador para dissipação do calor na placa de alumínio; (10) placa de alumínio na extremidade da caixa para retenção da amostra.

A Figura 02 mostra o diagrama funcional do experimento.

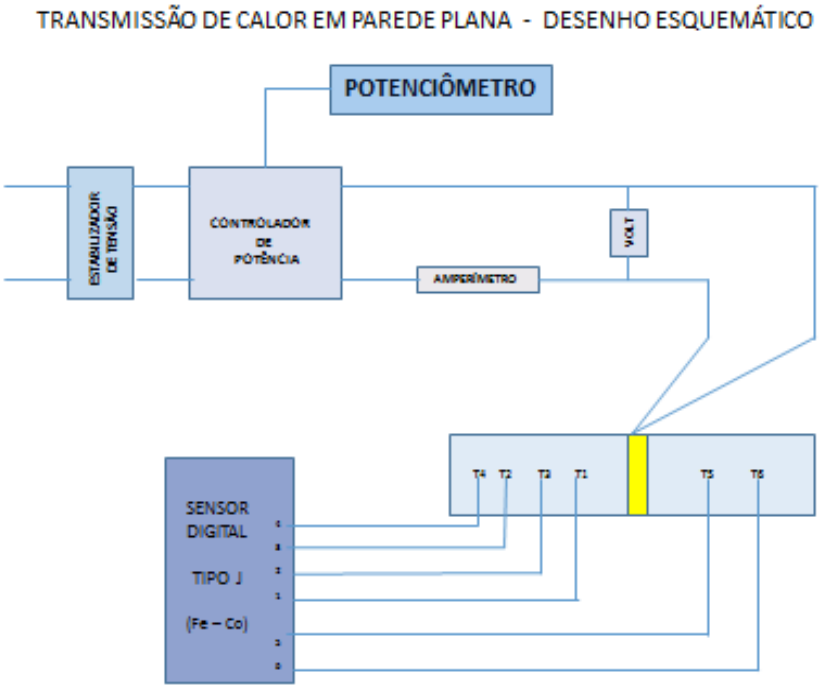

Figura 02 - Diagrama da transmissão de calor em parede plana

Em transmissão de calor para determinar a condutividade térmica de uma material em parede plana adotando-se regime permanente, com fluxo de calor unidimensional e perpendicular a parede utiliza-se da primeira Lei de Fourier dada por (KREITH, 1977):

$$\dot{q} = -kA\frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Sendo:

$\dot{q}$ – fluxo de calor ou taxa de transferência de calor na direção x (kcal/h),

k – coeficiente de condutividade térmica, sendo uma propriedade importante de qualquer material seja sólido, líquido e gasoso (kcal/h.m.K) ,

A – a área de secção transversal ao fluxo térmico (m^2),

$\frac{dT}{dx}$ – gradiente de temperatura negativo pois $T_2 < T_1$ - (K/m)

Areia – Aferição do dispositivo.

Para aferição do dispositivo para medição da condutividade térmica do fosfogesso foram realizados ensaios com areia de água doce.

Para um ensaio foi utilizado areia de granulometria fina e lavada. A areia foi secada em uma estufa a uma temperatura de 60° C por um período de aproximadamente 24 horas. Na sequência das atividades da pesquisa, foi realizada análise granulométrica através do ensaio de granulometria conjunta, com peneiras de mesh 12, 24, 32, 42, 60, 100, 140, 200, ou seja, peneiramento com sedimentação do material. Desta forma, obteve-se como resultado uma areia de mesh 42/60, uma vez que 70 % das partículas da areia passaram pela peneira 42 e sedimentaram na peneira 60.

A coleta do fosfogesso foi feita no seu estado natural, tendo sido retirado da linha de produção da indústria de fertilizantes COPEBRÁS, localizada no parque industrial de Cubatão, sendo a amostra da mesma procedência da utilizada por Santos (2001). Este material apresentou um baixo pH = 4 (meio ácido), tendo sido apassivado com carbonato de cálcio na proporção de 150 g de fosfogesso para 8 g de $CaCo_3$.

Dando prosseguimento, foi realizada a análise granulométrica através do ensaio de granulometria conjunta, com peneiras de mesh 12, 24, 32, 42, 60, 100, 140, 200. Desta forma, obteve-se como resultado uma areia de mesh 100/140.

RESULTADOS

Utilizando a equação (1) para a determinação da condutividade térmica em regime permanente e utilizando os últimos dados da planilha de coleta de dados das temperaturas nos pontos de tomada dos termopares como também considerando os pontos onde as temperaturas permaneceram estabilizadas.

Com os dados obtidos com a areia fina mesh 42/60 conforme tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Areia, tempo do experimento, temperatura dos termopares 1 a 6, amperagem, tensão elétrica.

Tempo	Temperatura (C)						Corrente	Tensão (V)
(min)	1	2	3	4	5	6	(A)	
520	134,2	91,6	74,1	58,6	147,0	70,5	0,165	29,8
530	134,1	91,7	74,2	58,6	147,0	70,6	0,160	29,3
540	133,7	91,7	74,4	58,7	147,0	70,7	0.165	31,4
550	134,0	91,7	74,3	58,6	147,0	70,6	0,165	30,2
560	134	91,7	74,2	58,6	147,1	70,5	0,165	30,8

Substituindo os valores da tabela 1 na equação de Fourier obteremos para areia fina um k médio:

$K_{médio}$= 0,362 w/m.K.

O valor encontrado pelo experimento está bem próximo ao valor citado pela literatura KREITH (1977) – areia seca= 0,20 BTU/h.ft.F = 0,3462 w/m. K.

Portanto, para a determinação da condutividade térmica do fosfogesso, foi considerado calibrado o equipamento experimental para parede plana.

Na próxima etapa do experimento, foi utilizada uma amostra de fosfogesso obtendo como resultado os valores da tabela 2 após a estabilização da temperatura.

Tabela 2: Fosfogesso, tempo de experimento, temperatura dos termopares 1 a 6, amperagem e tensão elétrica.

Tempo	Temperatura						Corrente	Tensão (V)
(min)	1	2	3	4	5	6	(A)	
350	69,5	51,0	42,6	36,1	84,3	41,5	0,03	15,6
360	69,5	51,0	42,6	36,0	84,5	41,6	0,03	15,0
370	69,4	51,0	42,4	35,7	84,4	41,5	0,03	15,2
380	69,5	50,8	42,3	35,6	84,4	41,2	0,03	15,1
390	69,4	50,9	42,2	35,6	84,4	41,2	0,03	15,0

Substituindo os valores da tabela acima na equação de Fourier obteve-se o valor da condutividade térmica média do fosfogesso.

$K_{médio}$ do fosfogesso = 0,177 W/m.K

Para certificação final do valor da condutividade térmica do fosfogesso, está em andamento a pesquisa utilizando-se o método experimental do Sistema Radial para determinação da condutividade térmica do fosfogesso e compará-lo com o valor já determinado pelo Sistema de Parede Plana. A tabela 03 e Figura 03 mostra a condutividade térmica de alguns materiais isolantes comparados ao fosfogesso.

Tabela 03 - Condutividade térmica de alguns materiais isolantes

Material	Condutividade Térmica - (W/m K)
Fosfogesso	0,178
Silicato de cálcio	0,066
Poliuretano (espuma)	0,019
Lã de rocha	0,051
Amianto	0,197
Borracha	0,174
Cimento amianto	0,151
Tijolo furado	0,407
Madeira	0,233
Argamassa	0,872
Concreto	1,512
Areia seca	0,375

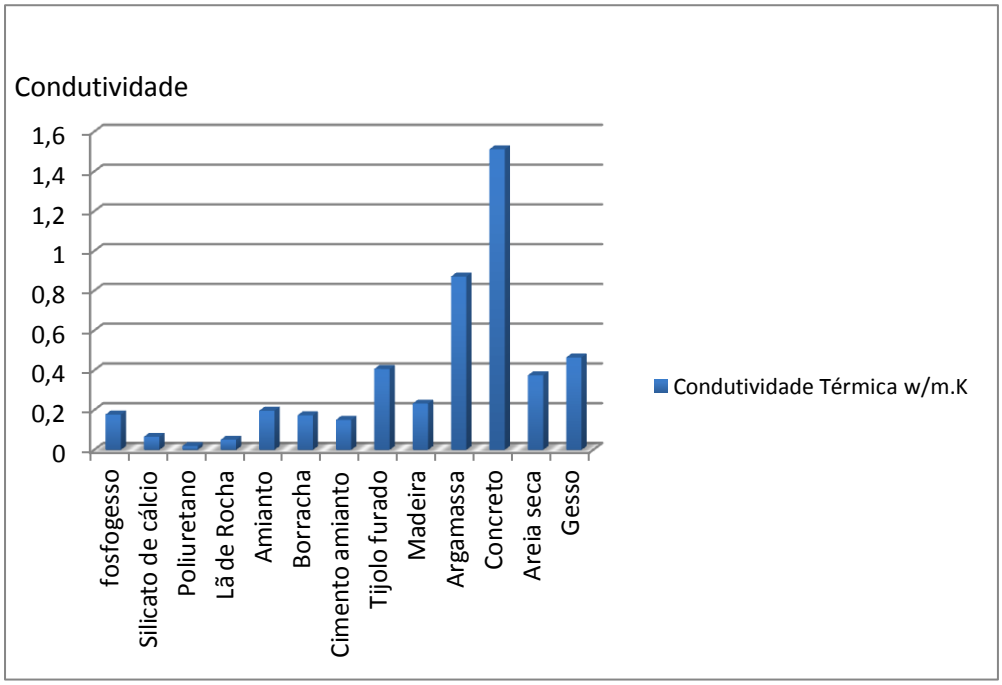

Figura 03 - Valores comparativos de K para diversos materiais x fosfogesso – Fonte: CENGEL, 2009; KRETH, 1977; INCROPERA,2008; PERRY, 1999.

CONCLUSÃO

O mundo contemporâneo estabeleceu uma espécie de consenso quanto à questão da degradação ambiental, de que a ciência e tecnologia podem ser grandes mitigadores, restauradoras e até mesmo salvadoras dos problemas ambientais. Assim, ciência e tecnologia são, simultaneamente, parte do problema e alcance da solução, assumindo um papel ambíguo na sustentabilidade do universo.

Por esse entendimento, é de grande importância que a tecnologia possa ser direcionada à pesquisa para a utilização do fosfogesso, que é um problema ambiental progressivo incomodando a esfera cientifica mundial pela necessidade de se extrair o ácido fosfórico para sobrevivência da humanidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ÇENGEL, Y.A. **Transferência de calor e massa**: uma abordagem prática. Revisão técnica de K. R. Ismail. São Paulo: McGraw-Hill, 2009**.**

INCROPERA, F.P. ; DEWITT, D.P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. Livro. Ed 5. Rio de Janeiro: Técnicos e Científicos Editora S.A. 2008.

KREITH, F. **Principles of Heat Transfer.** Livro. USA: Ed 6. Brooks/cole, 2001.

MATOS, T.H.C. **Caracterização hidro-mecânica do fosfogesso e das misturas solo-fosfogesso**. Dissertação de Mestrado em Geotecnia. 2011. Universidade de Brasília / UNB. Brasília-DF.

PÉRRY, R.H. **Perry's chemical engineers handbook**. Ed. 7. New York (USA): McGraw-Hill, 1999.

PET CIVIL. **Um novo material de construção**. UFJF, 28 maio 2011. Disponível em:<http://blogdopetcivil.com/tag/fosfogesso>. Acesso em: 7 mar. 2012.

PINTO, M.M. **Avaliação da implantação de cobertura vegetal em uma pilha de fosfogesso**. Dissertação. Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos. Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <http://www .bibliotecadigital. ufmg.br/dspace /bitstream/ 1843/FRPC-78HHER/1/272m.pdf>. Acessado em 5 de abril de 2012.

SANTOS, A.R. **Análise termoeconômica do processo de transformação química do fosfogesso em torta carbonatada ou torta hidróxido**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. 2001. Escola Federal de Engenharia de Itajubá / EFEI. Itajubá-MG.

TOMAZ, C. M. **The production of Phosphoric Acid and Phosphogypsum by Brazilian Industries**. Seminário Internacional Sobre Usos De Fosfogesso, Belo Horizonte, 2006.