

# ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE PORCENTAGEM DE ADIÇÃO DE GIPSITA E RESISTÊNCIA MECÂNICA NO CIMENTO PORTLAND<sup>1</sup>

*Kênia Gomes Aires<sup>2</sup>  
 Viviana Passamai Della Sagrillo<sup>3</sup>  
 José Roberto de Oliveira<sup>4</sup>*

## Resumo

O estudo teve a finalidade de determinar o ponto ótimo deste material no cimento buscando a maximização da resistência mecânica e, conseqüentemente, redução de custos no processo produtivo relativos ao consumo excessivo desta matéria-prima. A metodologia adotada consistiu em elevar a fração de gipsita desde o nível normal (geralmente 3%) para um nível cerca de dois pontos percentuais mais altos (5%). A fração de gesso natural foi mantida no nível mais alto por 60 minutos e após esse período a alimentação de gipsita no moinho foi cortada durante 60 minutos. Durante os 60 minutos sem a alimentação, coletou-se amostra do cimento produzido de 3 em 3 minutos de forma a obter uma distribuição suave da queda da gipsita. Realizaram-se ensaios para determinação do teor de Anidrido Sulfúrico - SO<sub>3</sub> e de resistência mecânica nas amostras coletadas. Constatou-se que o cimento produzido com porcentagem média de 3,0% de SO<sub>3</sub> alcançou o pico máximo de 26,4; 35,5; 38,8 e 45, 1 MPa para resistência nas idade de 1, 3, 7 e 28 dias, respectivamente.

**Palavras-chave:** Resistência mecânica; Gesso; Cimento Portland.

## STUDY OF RELATION BETWEEN THE ADDITION PERCENTAGE OF GYPSUM AND MECHANICAL RESISTANCE IN PORTLAND CEMENT

### Abstract

The study aimed to determine the optimal point of this material in cement seeking to maximize the mechanical resistance and, as consequence, to reduce the cost in the production process related to excessive consumption of this raw material. The methodology adopted was to increase the fraction of gypsum from the normal level (usually 3%) to a level about two percentage points higher (5%). The fraction of gypsum was maintained at the highest level for 60 minutes and after that period the feed of gypsum to the mill was cut for 60 minutes. During the 60 minutes without gypsum feed, sample of cement produced were collected in 3 of 3 minutes in order to obtain a smooth distribution of falling gypsum. Assays were performed to determine the content of sulfur trioxide - SO<sub>3</sub> and the mechanical resistance of the collected samples. It was found that the cement produced with average percentage of 3.0% SO<sub>3</sub> reached a peak of 26.4, 35.5, 38.8 and 45.1 MPa for resistance ages of 1, 3, 7 and 28 days, respectively.

**Key-words:** Mechanical resistance; Gypsum; Portland Cement.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheira Química. Mestranda. Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, Vitória, ES, Brasil.*

<sup>3</sup> *Química Industrial. Pós-Doutorado. Professora e Coordenadora Administrativa do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais no IFES, Vitória, ES, Brasil.*

<sup>4</sup> *Engenheiro Metalúrgico. Pós-Doutorado. Professor e pesquisador no IFES, Vitória, ES, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva da construção civil tem apresentado impactos relevantes ao meio ambiente tornando-se responsável por uma elevada extração de recursos naturais do planeta.<sup>(1)</sup> A otimização do processo de produtivo de cimento Portland através da determinação do teor ótimo de adição de gipsita é uma das tendências para diminuição do impacto ambiental da construção civil, particularmente em nível de consumo de recursos naturais.

Entre os materiais que tem sua utilização em largo crescimento na construção civil está o mineral gipsita, um sulfato de cálcio duplamente hidratado e abundante no Brasil. É representado quimicamente pela fórmula ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Segundo Linhales,<sup>(2)</sup> os termos “gipsita”, “gipso” e “gesso”, são frequentemente usados como sinônimos. No entanto, o mineral na sua forma natural é geralmente denominado como gipsita, enquanto gesso é o termo mais apropriado para designar o produto calcinado.

A gipsita na forma bruta é bastante usada na agricultura e na indústria de cimento, enquanto a forma beneficiada encontra várias utilizações na construção civil. No setor industrial, a grande aplicação da gipsita é na fabricação do cimento como fonte de anidrido sulfúrico -  $\text{SO}_3$  com o objetivo de controlar o tempo de endurecimento ou a pega do cimento.<sup>(3,4)</sup> A gipsita é adicionada ao clínquer num percentual de 3 a 5 % em peso na etapa de moagem para evitar a pega instantânea do aluminato tricalcico -  $\text{C}_3\text{A}$  durante a hidratação do cimento.

A ASTM C 150<sup>(5)</sup> define o cimento Portland como sendo um aglomerante hidráulico (não só endurece por meio de reação com água, mas também constitui um produto resistente à água), produzido pela moagem do clínquer, que consiste essencialmente em silicatos de cálcio, usualmente misturados com uma ou mais formas de sulfato de cálcio como um produto de adição.

Segundo Metha,<sup>(6)</sup> os íons sulfatos que entram em solução pela dissolução da gipsita tem um efeito retardador sobre os aluminatos, mas um efeito acelerador na hidratação dos silicatos, os quais são os principais compostos do cimento Portland. Logo, existe um teor específico de gipsita para o desempenho ótimo do cimento que varia de acordo com a composição das matérias-primas utilizadas e que é responsável por proporcionar outros benefícios ao produto.

Portanto, faz-se necessário, estudos e pesquisas sobre otimização dos insumos envolvidos no processo produtivo de cimento e maximização da qualidade do produto. Destaca-se nesse trabalho a necessidade da determinação de um teor específico de gipsita para o desempenho ótimo do cimento.

Com essas informações, constata-se que o estudo da relação entre a porcentagem de adição de gipsita e resistência mecânica no cimento Portland contribui tanto do ponto de vista econômico como também ambiental. Do ponto de vista econômico, agrega valores intangíveis à marca do cimento quando otimiza o uso de materiais extraídos da natureza e, conseqüentemente, reduz o custo das edificações e construções e do ambiental, a partir da preservação dos recursos naturais.

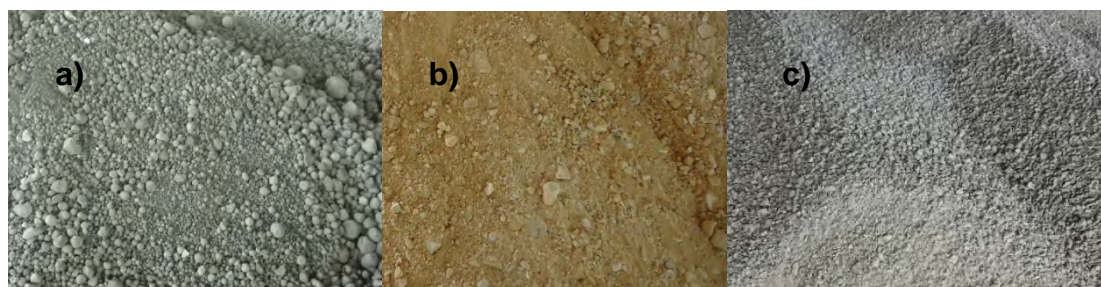
## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O clínquer (a) apresentado na Figura 1 foi disponibilizado pela empresa Rio Negro localizada no município de Cantagalo-RJ. Devido a sua alta reatividade, o caminhão utilizado no transporte estava devidamente coberto com lona a fim de evitar a hidratação do mesmo no caso de contado com água.

O calcário (b) é proveniente da Provale localizada no município de Itaóca-ES. O material corresponde ao calcário calcítico com granulometria de 10 a 60 mm e se caracteriza pela alta concentração de óxido de cálcio e baixo teor de magnésio.

Na Figura 1, também é possível observar a gipsita (c), na sua forma natural, com granulometria entre 12,5 a 100 mm, proveniente do polo gesso de Araripe do município de Trindade-PE que se destaca por ser o maior polo gesso do Brasil.

Para atingir o objetivo deste trabalho, primeiro foi necessário determinar, via fluorescência de Raios-X, as composições químicas apresentadas na Tabela 1 das amostras de clínquer, calcário e gipsita (Figura 1).



**Figura 1:** Clínter (a), calcário (b) e gipsita (c).

**Tabela 1:** Composição química das matérias-primas que compõem o CP Ind. (% em peso)

	Análise Química		
	Clínter	Calcário	Gesso natural
SiO <sub>2</sub> (%)	20,69	2,33	1,57
CaO (%)	65,10	48,2	35,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	5,12	0,42	0,47
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	3,87	0,36	0,25
MgO (%)	1,65	5,21	0,50
SO <sub>3</sub> (%)	1,55	0,37	40,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,12	--	0,08
Perda Fogo	--	43,1	21,5
CaO livre	1,9	--	--

De posse destes dados, foram definidos os teores de cada uma das matérias-primas necessárias para produção do Cimento Portland Industrial - CP Ind., Tabela 2.

**Tabela 2:** Composição do CP Ind. (% em peso)

Matéria-prima	Clínter	Calcário	Gesso Natural
Proporção (%)	91,5	5,0	3,5

Na etapa seguinte, de forma paralela ao processo de produção foi determinada a porcentagem ótima de gesso natural no CP Ind. Alguns requisitos como processo de moagem de cimento estável, disponibilidade de clínquer e aditivos (especialmente

gesso) nos silos, ponto de amostragem representativo e em perfeitas condições e recipientes devidamente identificados para armazenamento das amostras foram atendidos para garantir a veracidade dos resultados.

As atividades para amostragem da amostra CP Ind. obedeceu as seguintes etapas:

- A fração de gipsita na alimentação do moinho foi aumentada rapidamente desde o seu nível normal (geralmente 3%) para um nível cerca de 2 pontos percentuais mais alto (5%);
- A fração de gesso foi mantida nesse nível mais alto durante 60 minutos, que é o tempo necessário, para estabilização do moinho. Após esse período foi cortada a alimentação de gesso por 60 minutos;
- Durante os 60 minutos que a alimentação de gesso foi cortada, coletou-se amostras do CP Ind. produzido de 3 em 3 minutos de forma que obteve-se uma distribuição suave da queda do teor de SO<sub>3</sub>. A quantidade de amostra coletada foi superior a 7 kg para realização de todos os ensaios necessários.

Depois de finalizada a coleta das amostras, a alimentação de gesso foi elevada a um patamar ligeiramente acima do seu nível normal para compensar as perdas durante o corte de alimentação. Em seguida, de forma gradativa, o percentual de gesso alimentado retornou ao nível normal.

O gráfico da Figura 2 indica como o percentual de gesso na alimentação foi variado ao longo do tempo:



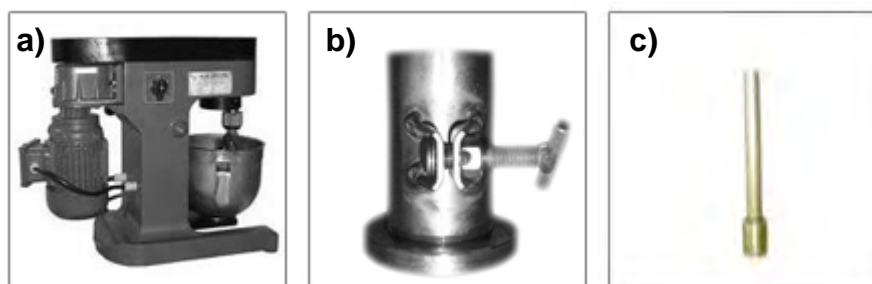
**Figura 2:** Variação do percentual de gesso na alimentação do moinho de bolas.

O produto cimento foi encaminhado para um silo metálico, o qual é utilizado para testes em escala industrial.

A análise das amostras coletadas compreendeu as etapas abaixo:

- Análise do teor de SO<sub>3</sub>;
- Seleção de um número de amostras representativas quanto ao teor de SO<sub>3</sub> analisado para análise de resistência à compressão;

Para a determinação do teor SO<sub>3</sub> adotou-se o procedimento recomendado pela NBR NM 16<sup>(7)</sup> e para a determinação da resistência a compressão das amostras de cimento adotou-se o procedimento recomendado pela NBR 7215,<sup>(8)</sup> utilizando-se de um misturador de argamassa modelo AG-5, formas para argamassa Ø5x10cm e soquete para moldagem de argamassa (Figura 3).



**Figura 3:** Misturador de argamassa (a), forma cilíndrica Ø5x10cm (b) e soquete (c).

A eleição do ponto ótimo de gesso natural foi definida a partir da porcentagem de  $\text{SO}_3$  obtida na amostra de CP Ind. que apresentou o melhor resultado de resistência a compressão.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta os resultados da concentração de  $\text{SO}_3$  obtidos nas amostras coletadas.

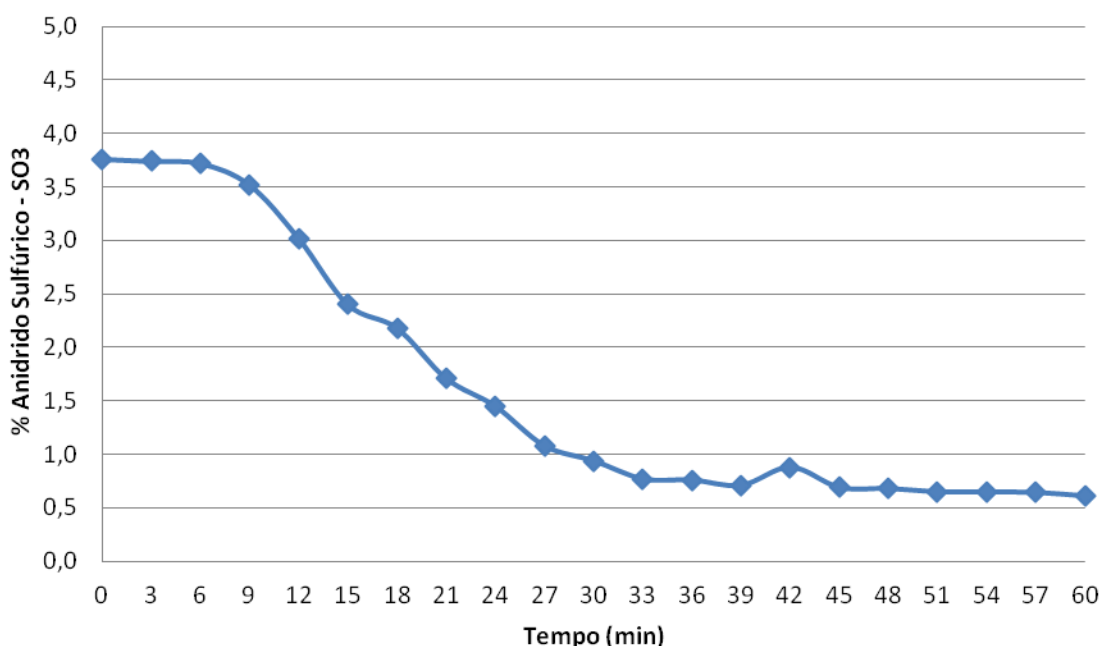
**Tabela 3:** Resultados do teor de  $\text{SO}_3$  (% em peso) nas amostras de CP Ind.

Amostras	Tempo de coleta (min)	Anidrido Sulfúrico – $\text{SO}_3$ (%)
1	0	3,76
2	3	3,74
3	6	3,72
4	9	3,52
5	12	3,02
6	15	2,40
7	18	2,18
8	21	1,71
9	24	1,45
10	27	1,08
11	30	0,94
12	33	0,77
13	36	0,76
14	39	0,71
15	42	0,88
16	45	0,69
17	48	0,68
18	51	0,65
19	54	0,65
20	57	0,64
21	60	0,61

Percebe-se que os 60 minutos de teste foi considerado como tempo necessário para limpeza de todo sistema operacional, ou seja, após esse tempo não foi obtido resíduos de  $\text{SO}_3$  provenientes do gesso natural e sim das demais matérias-primas envolvidas no processo produtivo de cimento que também apresentavam esse composto na composição conforme apresentado na Tabela 1.



Na Figura 4 pode-se observar uma queda suave do teor de SO<sub>3</sub> durante os 60 minutos de coleta do CP Ind. este fato é decorrente do corte na alimentação de gesso natural no processo produtivo.



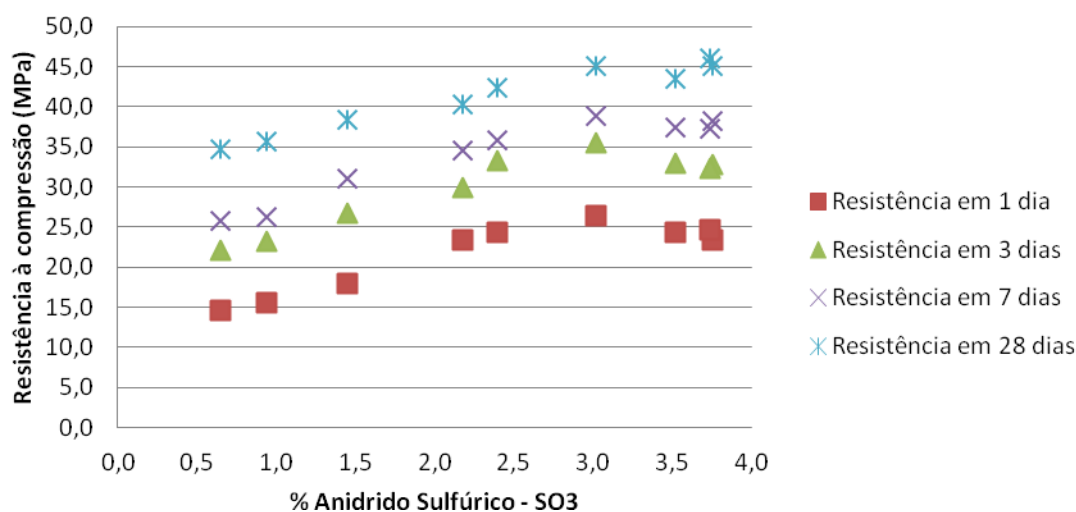
**Figura 4:** Porcentagem de SO<sub>3</sub> em função do tempo de coleta das amostras

O tempo estipulado como necessário para limpeza de todo sistema operacional pode variar de acordo com o tipo de planta industrial. A Tabela 4 apresenta os resultados de resistência à compressão para as amostras consideradas representativas. Os corpos de prova curados em câmara úmida foram submetidos a ensaios de resistência à compressão no laboratório e na idade de 1 dia, primeira idade ensaiada, já se percebe uma diferença de resistência à compressão nos corpos de prova onde tem-se um pico de máxima resistência (26,4 MPa) quando adicionado 3,02% de SO<sub>3</sub>.

**Tabela 4:** Resultados de resistência à compressão nas amostras de CP Ind.

SO <sub>3</sub> %	Resistência compressão (MPa)			
	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
3,76	23, <sup>3</sup>	32,8	38,2	45,0
3,74	24,6	32,3	37,2	46,0
3,52	24,3	32,9	37,4	43,5
3,02	26, <sup>3</sup>	35,5	38,8	45,1
2,40	24, <sup>3</sup>	33,3	35,8	42,4
2,18	23, <sup>3</sup>	29,9	34,6	40,3
1,45	17,9	26,7	31,1	38,3
0,94	15,5	23,2	26,3	35,6
0,65	14,6	22,1	25,7	34,7

A Figura 5 apresenta o resumo dos resultados encontrados a partir dos ensaios de resistência à compressão efetuado de acordo com metodologia de análise adotada.



**Figura 5:** Relação entre resistência à compressão e porcentagem de SO3 no CP Ind.

Os dados da Figura 5 registram a existência de uma correlação entre o teor de SO<sub>3</sub> e a resistência à compressão nas amostras analisadas onde é possível observar a ocorrência de variações no parâmetro resistência mecânica quando se faz uso de porcentagens diferentes de SO<sub>3</sub>. Tem-se que o teor médio de 3% de SO<sub>3</sub> apresentou resultados de resistência à compressão muito satisfatórios para o cimento quando comparado as demais porcentagens utilizadas.

À medida que aumentou a adição de gesso, e conseqüentemente aumento de SO<sub>3</sub>, aumentou-se a resistência à compressão em todas as idades estudadas. No entanto, após alcançar um teor ótimo de gipsita ou SO<sub>3</sub> nota-se uma queda na resistência ao adicionar mais sulfato de cálcio no processo.

#### 4 CONCLUSÕES

Os resultados e análises realizadas permitem concluir que existe uma relação entre resistência à compressão e teor de gipsita ou anidrido sulfúrico no cimento que nesta pesquisa apontou um teor ótimo de 3% de SO<sub>3</sub> a ser adicionado ao CP Ind. Fazendo-se uso desta proporção tem-se um pico de 26,4; 35,5; 38,8 e 45,1 MPa para resistência do CP Ind. nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias, respectivamente.

Vale salientar que houve uma economia de 0,5% no consumo do mineral gipsita, uma vez que o consumo inicial foi de 3,5 % conforme apresentado na Tabela 2. Percebe-se que os íons sulfatos presentes na gipsita promoveram um efeito acelerador na hidratação dos silicatos contidos no clínquer, os quais são os principais compostos do cimento Portland.

Diante dos resultados que relacionam a resistência à compressão com o teor de SO<sub>3</sub> das amostras analisadas, verifica-se a viabilidade deste tipo de estudo para a identificação da proporção ideal de gesso a ser adicionado no processo produtivo de cimento Portland. Isto é, sem dúvida, um estudo importantíssimo quando se trata de preservação de recursos naturais e otimização e controle de processo dentro uma indústria cimenteira.

## **Agradecimentos**

A autora Kênia Gomes Aires agradece à empresa Cimento MIZU pela disponibilidade do espaço e equipamentos para realização dos ensaios, bem como a equipe do laboratório envolvida no estudo.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 GUSMÃO, A. D. Manual de Gestão dos Resíduos da Construção Civil. Camaragibe, PE: CSS, 2008.
- 2 LINHALES, F. Caracterização do gesso. 2003. 22 f. Dissertação. (Pós-graduação em Engenharia de Minas e Metalúrgica). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.
- 3 CARPIO, Ricardo Carrasco. Otimização no uso de co-processamento de resíduo na indústria do cimento, envolvendo custo, qualidade e impacto ambiental. 194 p. Tese de doutorado, UNIFEI, Itajuba – MG, 2005.
- 4 JORGENSEN, D.B. (1994). Gypsum and Anhydrite. In.: Industrial Minerals and Rocks, 6ª Edição. Carr, D.D. (Editor). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 571-581.
- 5 ASTM C 150 – AMERICAN SOCIETY for TESTING and MATERIALS. Standard Specification for Portland cements. Philadelphia, 1991.
- 6 MEHTA, P.K., MONTEIRO, P.J.M. Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. 1 ed. São Paulo: Editora Pini, 1994. 581 p.
- 7 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 16: Análise química – Determinação de anidrido sulfúrico. Rio de Janeiro, 2012.
- 8 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da Resistência à Compressão. Rio de Janeiro, 1996.