



# CIMENTO DE OXI-SULFATO DE MAGNÉSIO (MOS) COM ADIÇÃO DE SÍLICA DO ARROZ E MICROFIBRA DE POLITEREFTALATO DE ETILENO (PET)

Palavras-Chave: Cimento Magnesiano, Sílica do Arroz, Fibra de PET

Autores:

Júlia Túlio Gomes [Unicamp]

Carlos Eduardo Marmorato Gomes [Unicamp]

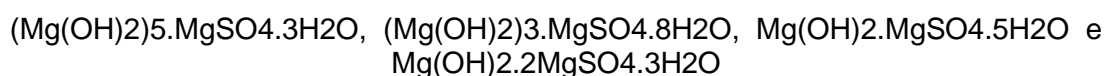
## INTRODUÇÃO

Atualmente, o cimento Portland possui alta demanda e empregabilidade na construção civil e sabe-se que o mesmo é responsável por elevados níveis de emissão de gás carbônico na atmosfera durante a produção do clínquer. Estima-se que para cada tonelada produzida são geradas aproximadamente 1 tonelada de CO<sub>2</sub>. Dessa forma, com o crescimento de ações para minimizar a emissão de poluentes e o aumento na conscientização da população, o cimento magnesiano se mostra uma alternativa sustentável, em comparação ao cimento Portland, pois a sua produção está associada a menor emissão de CO<sub>2</sub>. Assim, em busca de um compósito mais sustentável e com melhores propriedades mecânicas, nessa etapa da pesquisa estudou-se teoricamente as características da adição da Sílica da Casca do Arroz (SCA) e de Microfibras de Polietileno tereftalato (PET) ao Cimento Magnesiano (MOS).

### CIMENTO MAGNESIANO (CIMENTO MOS/ CIMENTO SOREL)

A tecnologia dos cimentos magnesianos é relativamente a mesma desde sua descoberta pela empresa Sorel em 1867 (GOMES, 2013; MISRA, 2007). Sabe-se que, primeiro, surgiram os cimentos de magnésio oxi-cloreto (MOC) e que, somente em 1934, os cimentos de oxi-sulfato de magnésio (MOS) foram descobertos por Olmer e Delyon. Por este motivo, magnésio oxi-cloreto e oxi-sulfatos são comumente referidos como cimentos “Sorel”.

Uma gama de compostos é formada quando a magnésia é misturada para reagir com sulfato de magnésio. Assim, as principais fases encontradas até agora nesses cimentos endurecidos são:



Dessa forma, segundo Shand (2006), o principal uso para o cimento magnesiano é para placas leves que são comumente utilizadas em técnicas construtivas como Drywall e Light Steel Frame (LSF). O uso das placas leves vem crescendo aliado a industrialização da construção civil pois elas apresentam grandes vantagens como modularidade e rapidez quando são empregadas. Além disso, as construções secas estão atreladas diretamente com a sustentabilidade pois suas obras geram menos resíduos devido ao menor desperdício e baixo uso de água.

O MOS não precisa de cura úmida e possui bom desempenho em altas temperaturas, segundo MARK (2006). Ademais, do ponto de vista mecânico, possui elevada resistência inicial e boa resistência à abrasão, características importantes na produção de placas cimentícias, além de possuir baixa condutividade térmica. Dessa forma, as propriedades do MOS são compatíveis para produção de matrizes e compósitos, como as chapas e placas planas usadas na construção a seco.

Os materiais pozolânicos, ricos em dióxido de silício amorfo, podem reagir com o hidróxido de magnésio produzindo uma fase de silicato hidratado de magnésio (M-S-H), com melhores propriedades mecânicas, especialmente a compressão. Assim, a possibilidade de uso desta adição na próxima etapa

junto ao cimento MOS, pode trazer outros benefícios como aumento da dureza, menor desgaste e maior durabilidade destes compósitos.

### **SÍLICA DA CASCA DO ARROZ (SCA)**

No Brasil, verifica-se recentemente a possibilidade do emprego da Sílica da Casca do Arroz. Atualmente, o processo de queima da casca do arroz por leito fluidizado tem sido considerado uma inovação tecnológica que definitivamente permite a obtenção de uma sílica amorfa (SCA) compatível com a necessidade da indústria da construção civil (GOMES; MARTON, 2014). A tecnologia melhora a eficiência da queima e também permite a extração da sílica da casca de arroz com qualidade constante, alto grau de amorficidade e, conseqüentemente, aumento da pozolanicidade. Desse modo, possibilita a sua utilização como adição e/ou substituição parcial do cimento nas dosagens de concretos e argamassas.

Esta opção, além de tecnologicamente viável, possui impacto positivo em vários parâmetros de sustentabilidade pois a casca do arroz tem se tornado um grave problema ambiental em virtude da crescente produção agrícola e pela quantidade de gás metano gerado pelo descarte incorreto do resíduo na natureza. Conforme a literatura, a cada tonelada de arroz são produzidos cerca de 200 kg de casca in natura. Estes números se tornam ainda mais críticos na produção brasileira, especialmente no estado do Rio Grande do Sul, da ordem de 8 milhões de toneladas.

O potencial de aplicação da sílica da casca do arroz (SCA), portanto, está sendo verificado neste trabalho com intuito não somente de verificar sua influência nas propriedades mecânicas do MOS, mas também com foco na produção de compósitos cimentícios mais sustentáveis para produção de placas planas. A possibilidade de uso de uma pozolana oriunda de fontes renováveis tem demonstrado ser uma alternativa de impacto positivo na sustentabilidade aplicada à indústria. Além disso, há a possibilidade de se obter melhor desempenho e durabilidade ao compósito com redução de custos.

### **MICROFIBRA DE POLITEREFTALATO DE ETILENO (PET)**

O crescimento populacional atrelado às normas sanitárias de fiscalização de embalagens para alimentos, sólidos e líquidos, tem causado um aumento no descarte de embalagens em aterros sanitários, essas embalagens podem ser de diversos materiais sendo que para alimentos o Polietileno tereftalato (PET) é um dos mais utilizados. De acordo com a Associação Brasileira da indústria do PET (ABIPET, 2016), cerca de 840000 toneladas de PET foram consumidas somente em 2016 no Brasil e o décimo censo produzido pela associação demonstra que em 2015 foram-se recicladas somente 260000 toneladas do material. Sendo assim, segundo Wallace (2017), boa parte das embalagens de PET não são recicladas diretamente e vão para aterros sanitários sendo que poderiam ser 100% recicladas. Ademais, sua degradação ocorre em cerca de 100 anos na natureza.

A fibra de PET é obtida pelo processo de reciclagem de embalagens e é apenas uma das maneiras possíveis de se reutilizar o PET. Ao se trazer novos usos para o material reciclado, há uma tendência para o aumento da reciclagem para a sua comercialização, o que é benéfico tanto para a redução de resíduo sólido quanto para a geração de empregos. Assim, há uma necessidade ambiental e, também, um incentivo econômico e social para se desenvolver novas aplicações e produtos à base de PET reciclado, como este projeto de pesquisa.

## **OBJETIVOS**

O objetivo geral desse trabalho consiste estudar e analisar do desempenho mecânico de matrizes de cimento de oxi-sulfato de magnésio com adição da Sílica da Casca do Arroz (SCA) e microfibras de PET para produção de compósitos e possível uso em placas planas cimentícias.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Definição das matrizes de oxi-sulfato de magnésio por meio estudo de diferentes razões molares entre o sulfato de magnésio ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) e a magnésia ( $MgO$ );
- Definição das matrizes de oxi-sulfato de magnésio aditivadas por Sílica da Casca do Arroz, por meio estudo de diferentes teores de adições de SCA (10%, 20%, 30% e 40%);
- Análise das propriedades mecânicas de compressão axial, tração na flexão e durabilidade das matrizes de MOS com adição de SCA e reforçadas com microfibras.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir apresenta-se a relação de materiais empregados na presente pesquisa:

- Óxido de magnésio (magnésia) – MgO:

Tabela 1: Propriedades do MgO

Elemento	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Massa (%)	> 92.5	<2.5	< 0.7	< 3.0

- Sulfato de Magnésio Heptahidratado – MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O;

- Sílica da Casca do Arroz – SiO<sub>2</sub>:

Tabela 2: Caracterização química da SCA

Elemento	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	ZrO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	PF
%	93,99	0,20	0,05	0,003	0,51	0,14	1,16	0,02	-	0,36	3,30

Fonte: Grupo de Pesquisa GMC3 (2020)

- Microfibra de PET: Diâmetro aproximado de 20 microns e comprimentos de até 6mm. O material será fornecido pela empresa Etruria Industria de Fibras e Fios Sintéticos Ltda.

Figura 1: Sulfato de Magnésio, Óxido de magnésio, Sílica da Casca do Arroz e micro fibra de PET, respectivamente.



Fonte: Grupo de Pesquisa GMC3 (2020)

Foram definidas, por meio de estudo teórico, as relações molares entre o MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (Sulfato de magnésio) e o MgO (Óxido de Magnésio). Após, verificou-se a dissolução do sulfato de magnésio em água, onde estudos preliminares mostraram que as concentrações viáveis para dissolução do sal em água remetem a uma concentração de 35% a 40%. Sabe-se que a relação Água/MgO (a/m) está intimamente ligada à consistência e plasticidade da pasta e será ajustada conforme sua adensabilidade. Dessa forma, realizou-se 9

composições (Tabela 6) sendo um conjunto de 3 traços que foram usados como referência para outros dois conjuntos de 3 traços que foram usados para análise da interação dos materiais. Ademais, decidiu-se que o reforço da matriz por meio das fibras será realizado nas composições que apresentarem melhor desempenho na fase inicial experimental. Assim, os teores de fibras são de 0,5% e 1,0% do volume da matriz.

Tabela 3: Definição das composições e suas quantidades

Composição de referência			
Traço	Óxido de magnésio - MgO (g)	Sílica - SiO <sub>2</sub> (g)	Água + Sulfato (g)
1	1000	0	650
2	800	200	650
3	600	400	650

Composições 1 - 0,5% do volume de fibra de PET				
Traço	Óxido de magnésio - MgO (g)	Sílica - SiO <sub>2</sub> (g)	Água + Sulfato (g)	Fibra de PET (g)
1A	1000	0	650	5,86
2A	800	200	650	5,86
3A	600	400	650	5,86

Composições 2 - 1% do volume de fibra de PET				
Traço	Óxido de magnésio - MgO (g)	Sílica - SiO <sub>2</sub> (g)	Água + Sulfato (g)	Fibra de PET (g)
4A	1000	0	650	11,73
5A	800	200	650	11,73
6A	600	400	650	11,73

Seguiu-se o mesmo procedimento para realização de cada traço: Primeiramente, dissolveu-se o sulfato de magnésio em água por meio de um mixer a rotação de 1500rpm. Após isso, homogeneizou-se a pasta de cimento MOS em argamassadeira planetária durante 2 minutos e realizou-se a moldagem em corpos de prova de 4 x 4 x 16 cm, em sequência. Assim, os corpos de prova passaram por um período de cura de 28 dias. Para análise das propriedades mecânicas, adotar-se-á a ASTM C349 - Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic-Cement Mortars (Using Portions of Prisms Broken in

Flexure), equivalente à NBR 13279:2005 - Argamassa para assentamento e revestimento - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. A figura a seguir ilustra o procedimento, os corpos-de-prova e ensaios mecânicos:

Figura 2: Procedimentos para análise dos compósitos



Durante o processo de cura, realizou-se uma análise dimensional onde mediu-se com o auxílio de um paquímetro eletrônico o comprimento longitudinal de cada corpo de prova afim de analisar variações de expansibilidade de um traço para outro. Além disso, realizou-se uma análise das propriedades físicas de acordo com a NBR 9778 - Argamassa e concreto endurecidos -Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica.

Para análise de durabilidade adotou-se os procedimentos descritos na NBR15498 (Água Quente e Imersão/secagem) que são reconhecidos pela comunidade científica nacional como os que melhores se adequam à realidade brasileira. Assim, imergiu-se o corpo de prova em água a uma temperatura constante de 60°C durante 56 dias.

## RESULTADOS

Com os resultados da análise de propriedades físicas, pode-se perceber que adição da sílica aumentou a porosidade e absorção de água, porém, a densidade dos materiais manteve-se a mesma ordem de grandeza, como mostra o gráfico 1. Além disso, pode-se observar houve um padrão de crescimento na absorção e no índice de vazios em traços com maior quantidade de sílica.

A análise dimensional mostra, pelo gráfico 2, que os traços com mais MgO apresentaram retração, ou seja, variação dimensional negativa e após a incorporação da sílica houve tendência de maior expansão, possivelmente pela maior quantidade de água disponível no sistema para hidratar o MgO.

Gráfico 1: Resultados obtidos pela análise de propriedades físicas

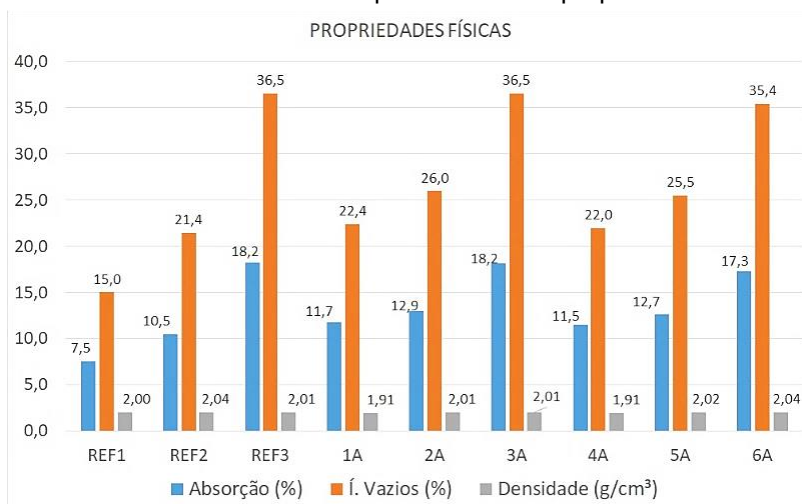
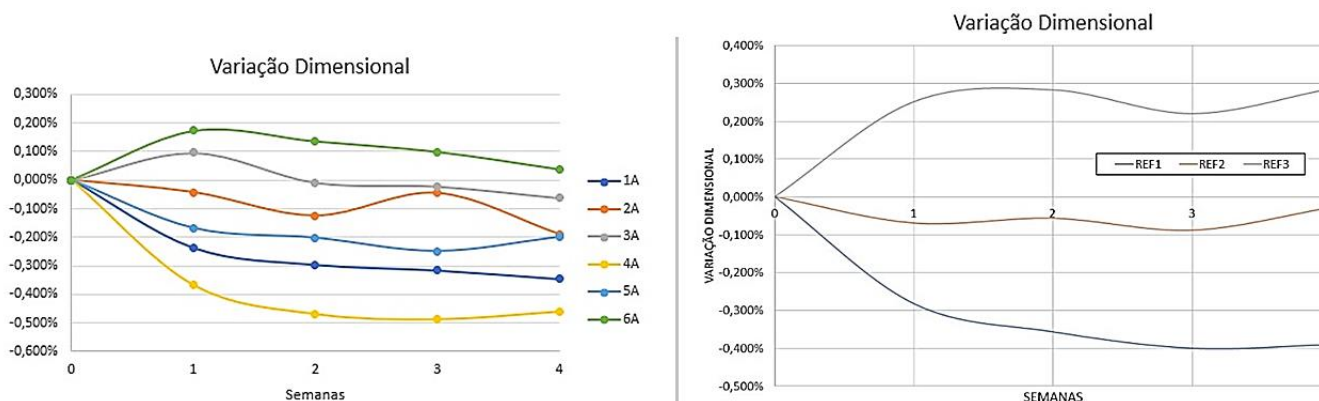


Gráfico 2: Resultados obtidos pela análise dimensional

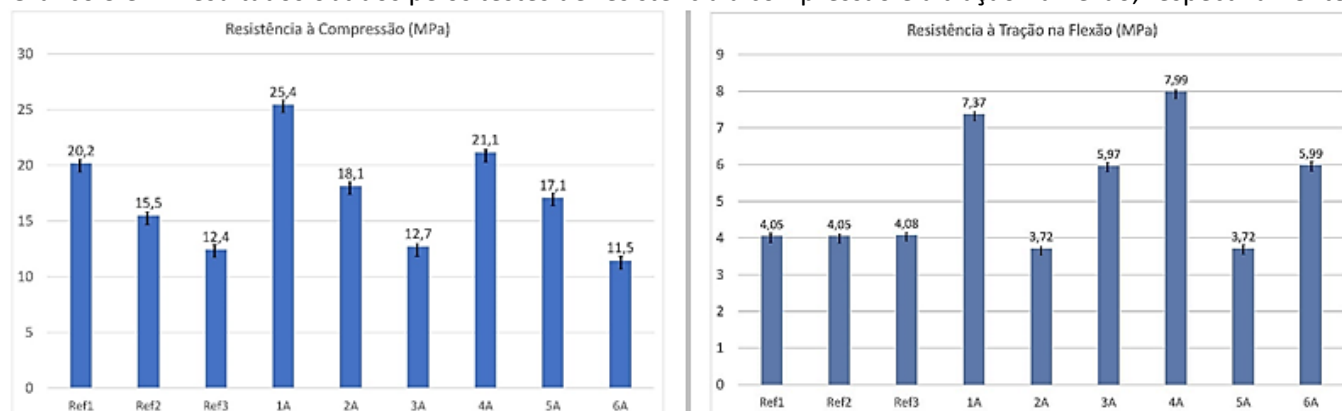




Com gráfico 3, referente aos resultados obtidos nos testes de resistência a compressão, pode-se interpretar que a incorporação da sílica apresentou tendência de menores resistências à compressão, pela diminuição do aglomerante ativo (MgO).

Em relação à resistência à tração (Gráfico 4), observou-se que houve influência positiva das fibras que atuam como costuras das microfissuras sofrida pelo corpo de prova.

Gráfico 3 e 4: Resultados obtidos pelos testes de resistência a compressão e a tração na flexão, respectivamente.



## BIBLIOGRAFIA

- [1] P. Metha, A unique supplementary cementing material. in: Advances in concrete technology, Proceedings: CANME (1992) 407{431.
- [2] P. Metha, N. Pitt, A new process of rice utilization. in: International conference on the utilization of rice by-products, Proceedings: IATA (1977) 45{58.14
- [3] J. Beaudoin, V. Ramachandran, Strength development in magnesium oxysulfate cement, Cement and Concrete Research 8 (1) (1978) 103 {112. doi:10.1016/0008-8846(78)90063-7
- [4] T. Demediuk, W. Cole, A study of mangesium oxysulphates, Australian Journal of Chemistry 10 (3) (1957) 287{294. doi:doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118022.
- [5] E. Newman, Preparation and heat of formation of a magnesium oxy- sulfate, J Res Natl Bur Stand A Phys Chem 68A (6) (1964) 645{650.doi:doi.org/10.6028/jres.068A.064.
- [6] C. M. Gomes, A. D. Oliveira, Chemical phases and microstructural analysis of pastes based on magnesia cement, Construction and Building Materials 188 (2018) 615{620. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.08.083.
- [7] C. E. M. Gomes, Alternative binder for fibercement building materials, in: Materials Processing and Manufacturing III, Vol. 753 of Advanced Materials Research, Trans Tech Publications, 2013, pp. 616{622. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.753-755.616.
- [8] C. M. Gomes, A. Garry, E. Freitas, C. Bertoldo, G. Siqueira, Effects of rice husk silica on microstructure and mechanical properties of magnesium-oxychloride fiber cement (mofc), Construction and Building Materials 241 (1) (2020) 1{12. doi:doi.org/10.1071/CH9570287.15
- [9] C. E. M. Gomes, G. Camarini, Magnesium Oxysulfate Fibercement, Key Engineering Materials 600 (2014) 308{318. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.600.308.
- [10] C. Wu, H. Zhang, H. Yu, Preparation and properties of modified magnesium oxysulfate cement derived from waste sulfuric acid, Advances in Cement Research 28 (3) (2016) 178{188. doi:10.1680/jadcr.15.00011.
- [11] S. Mark A. The Cemistry and Technology of Magnesia. Premier Chemicals, LLC Findlay, Ohio. A John Wiley & Sons, inc. Publication. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 2006
- [12] ABIPET, Associação Brasileira da indústria do PET. Décimo Censo da Reciclagem de PET no Brasil. 2016. Disponível em: . Acesso em: 31 de out. de 2019.
- [13] FERRO, Ivan Passuelo. Influência da sílica da casca de arroz nos estados fresco e endurecido de concretos auto adensáveis. Dissertação de mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Brasil. 2019.
- [14] GOMES, C.E.M.; MARTON, L.F.M. Otimização do consumo de cimento por meio da adição da Sílica da Casca de Arroz (SCA). In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, 1., 2014, Guimarães, Portugal. Anais. Guimarães: Universidade do Minho, 2014. 10 p.
- [15] LOPO, Wallace N. Uso do pet reciclado em tecidos de malha: estudo bibliográfico e exploratório. Revista de estudos acadêmicos interdisciplinares. Brasil. 2017.