



CIMENTO DE OXI-SULFATO DE MAGNÉSIO (MOS) COM ADIÇÃO DA SÍLICA DA CASCA DO ARROZ

Aluno orientado: Nicolas Pereira Tavares

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Marmorato Gomes.

Todos os dias, ao redor de todo o mundo, diariamente se consomem milhares de toneladas de cimento, sendo o mais usado o Cimento Portland (CP). A indústria desse material é uma das atividades humanas mais danosas ao ambiente, se mostrando grande perigo para a saúde pública. Desde os primórdios da construção com o que entendemos como cimento, foram desenvolvidas diversas variedades e modificações, entretanto, sejam por forças políticas ou econômicas, o CP domina o mercado da construção civil há mais de 200 anos.

Dessa forma, esse trabalho visa contribuir, de maneira positiva, para o desenvolvimento, pesquisa e divulgação de um material que demonstra grande potencial, porém ainda é muito pouco conhecido e seu uso se torna restrito a poucos. O cimento magnesiano como material de construção civil já vem sendo usado por diversos países como é o caso da China, onde esse aglomerante é comumente utilizado como vedação de construções do tipo Light Steel Frame. No mercado nacional, nos últimos anos, foram descobertos novos materiais, que em conjunto com o cimento magnesiano, se mostraram como possível alternativa, é o caso da sílica da casaca do arroz (SCA), oriunda do processo controlado das termelétricas. A SCA é amorfa, e por este motivo tem a capacidade de aprimorar as características de resistência mecânica do cimento.

Com o que já foi apresentado, esta pesquisa orientou-se em obter dados quantitativos e qualitativos sobre a resistência mecânica do cimento de oxi-sulfato de magnésio (MOS) com adição da sílica da casaca do arroz, e além, estudar e desenvolver uma relação entre cada constituinte da mistura, sua respectiva concentração, e a influência na resistência mecânica final.

No início da pesquisa, com auxílio do professor orientador, cinco formulações foram desenvolvidas, nas quais alterava-se a concentração do óxido de magnésio (MgO) e do dióxido de silício (SiO₂). Semanalmente, uma formulação era desenvolvida nas dependências do laboratório do Departamento de Arquitetura e Construção (DAC) da Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP. Após a adição e concluído o processo de mistura e homogeneização de todos os constituintes, a mistura era despejada nas formas e passam por um processo de vibração afim de retirar qualquer bolha de ar presente na mistura ou no interior dos moldes.



Após exatos sete dias, os corpos de prova (CPS) já haviam adquirido uma resistência suficiente para que pudessem ser desenformados sem rachaduras, deformações ou qualquer outra forma de avaria que pudesse comprometer os resultados. No restante do período de cura, vinte e oito contados desde o dia de formulação e modelagem, os corpos de prova eram deixados em condições naturais, isto é, expostos a temperatura e umidade do laboratório, sem nenhuma interferência externa.

Após completo o vigésimo oitavo dia de cura, retornava-se ao laboratório para a realização dos ensaios de ruptura e determinação da resistência mecânica final dos corpos de prova. Cada corpo de prova era submetido a 3 (três) ensaios: dois para determinação da resistência à compressão e um para a aferição da resistência à tração na flexão. É importante ressaltar que para cada formulação eram desenvolvidos três corpos de prova, valor suficiente para que ao final de todos os ensaios, se tivesse um espaço amostral satisfatório, no qual fosse possível estimar valores padrões e determinar, caso ocorressem, valores fora do intervalo de variância (nesse caso, o resultado seria desconsiderado).

Uma particularidade de extrema importância é, no dia da ruptura, todos os corpos de prova tinham suas dimensões aferidas, o objetivo das leituras era comprovar que, mesmo após retirados dos moldes, os corpos de prova não haviam sofrido qualquer expansão ou deformação prejudicial ao estudo.

Os fragmentos provenientes dos ensaios eram despostos em pacotes plásticos, selados e catalogados, com o escopo de, posteriormente, caso se fizesse necessário, fosse possível desenvolver um estudo de microscopia com os respectivos corpos de prova.

As formulações e os resultados obtidos podem ser verificados nas tabelas abaixo, nelas é possível aferir as massas de cada constituinte, a resistência mecânica de cada corpo de prova em cada ensaio, todas as dimensões de cada CPS e as médias de cada resultado.

Tabela 1: Composições analisadas

Formulações Iniciais							
Traço	MgO (g)	SiO ₂ (g)	Água salgada (g)	MgSO ₄ .7H ₂ O (g)*	mol MgO	mol MgSO ₄	Relação Molar
1	1000	0	650	185	24,81	0,751	33,04
2	900	100	650	185	22,33	0,751	29,74
3	800	200	650	185	19,85	0,751	26,43
4	700	300	650	185	17,37	0,751	23,13
5	600	400	650	185	14,89	0,751	19,82

Traço 1

Corpo de Prova	Flexão [kgf]	Compressão 1 [kgf]	Compressão 2 [kgf]	Base [mm]	Altura [mm]	Comprimento [cm]	Área [mm ²]
1	99,2	4625	4625	40,28	39,1	16	1574,95
2	198,4	4125	4125	40,11	39,68	16	1591,56
3	68,2	4000	5250	40,28	40,51	16	1631,74
Médias	121,9	4250	4667	40,22	39,76	16	1599,42

Tabela 2. Dados obtidos nos ensaios de ruptura do traço 1 e as respectivas dimensões dos corpos de prova

Traço 2

Corpo de Prova	Flexão [kgf]	Compressão 1 [kgf]	Compressão 2 [kgf]	Base [mm]	Altura [mm]	Comprimento [cm]	Área [mm ²]
1	102,3	3700	3720	40,94	40,48	16	1657,25
2	142,6	3375	3875	38,99	40,25	16	1569,35
3	155	4525	3600	39,9	40,38	16	1611,16
Médias	133,3	3867	3732	39,94	40,37	16	1612,59

Tabela 3. Dados obtidos nos ensaios de ruptura do traço 2 e as respectivas dimensões dos corpos de prova



Traço 3

Corpo de Prova	Flexão [kgf]	Compressão 1 [kgf]	Compressão 2 [kgf]	Base [mm]	Altura [mm]	Comprimento [cm]	Área [mm ²]
1	148,8	2650	2770	40,29	39,69	16	1599,11
2	117,8	2075	3125	40,5	39,88	16	1615,14
3	105,5	3250	3050	40,44	40,22	16	1626,50
Médias	124,0	2658	2982	40,41	39,93	16	1613,58

Tabela 4. Dados obtidos nos ensaios de ruptura do traço 3 e as respectivas dimensões dos corpos de prova

Traço 4

Corpo de Prova	Flexão [kgf]	Compressão 1 [kgf]	Compressão 2 [kgf]	Base [mm]	Altura [mm]	Comprimento [cm]	Área [mm ²]
1	-	3215	2625	39,9	40,73	16,1	1625,13
2	136,4	3500	2725	39,58	40,53	16,1	1604,18
3	148,8	3250	3600	39,64	40,44	16,1	1603,04
Médias	142,6	3322	2983	39,71	40,57	16,1	1610,78

Tabela 5. Dados obtidos nos ensaios de ruptura do traço 4 e as respectivas dimensões dos corpos de prova

Traço 5

Corpo de Prova	Flexão [kgf]	Compressão 1 [kgf]	Compressão 2 [kgf]	Base [mm]	Altura [mm]	Comprimento [cm]	Área [mm ²]
1	136,4	1800	1325	39,21	40,62	16,1	1592,71
2	133,3	1925	1805	40,66	40,45	16,1	1644,70
3	111,6	2475	2675	39,83	40,45	16,1	1611,12
Médias	127,1	2067	1935	39,90	40,51	16,1	1616,18

Tabela 6. Dados obtidos nos ensaios de ruptura do traço 5 e as respectivas dimensões dos corpos de prova

Depois de registrar nas tabelas todos os resultados obtidos, com o objetivo de promover a análise e compreensão de todos os valores de maneira mais fácil, elaborou-se um gráfico de barras, no qual o eixo das ordenadas representa a resistência mecânica média de cada ensaio e no eixo das abscissas cada formulação.

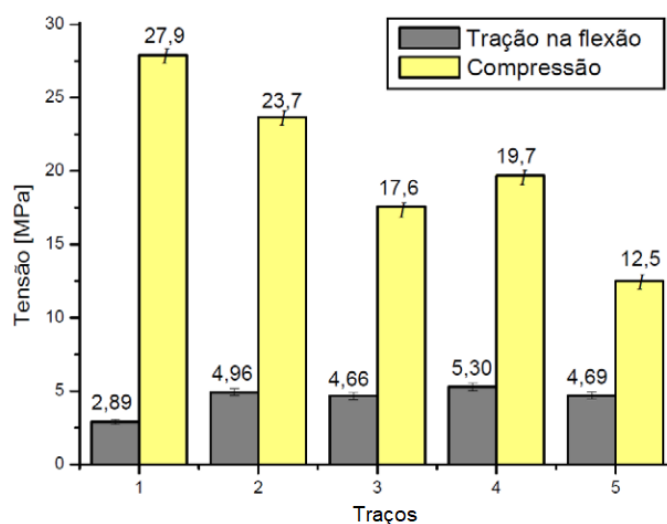


Gráfico 1: Resultados obtidos



Com o que foi apresentado acima e com uma breve análise, é possível notar que a relação entre o aumento de resistência mecânica da tração na flexão é diretamente proporcional, até certo ponto, a adição de maiores quantidades de óxido de sílica (SiO_2 , presente na casaca do arroz), obtendo-se o maior valor de resistência à tração com o Traço 4 (relação 3:2 entre $\text{MgO}:\text{SiO}_2$) com um valor de 5,3 MPa.

Por outra perspectiva, quando se trata da resistência à compressão e a adição do óxido de sílica ocorre de maneira inversamente proporcional, ou seja, quanto menor a proporção entre óxido de sílica e óxido de magnésio, maior será o valor obtido nesse tipo de ensaio. Dentre todos os resultados, o que melhor resistiu foi a formulação do Traço 1, no qual, não existe adição do SiO_2 , proporcionando uma resistência final de 27,9 MPa.

Após todo o desenvolvimento da pesquisa teórica e prática, fica evidente que o cimento de oxi-sulfato de magnésio (MOS) com a adição da sílica da casaca do arroz pode, dependendo da aplicação que este material receber e do tipo de esforço por ele sofrido, representa uma alternativa viável, seja para pequenas obras ou para mercados de grande escala, além de direcionar a construção civil para uma era mais próxima da sustentabilidade.

Sumariza-se, a presente pesquisa demonstrou o MOS com adição da SCA como uma alternativa viável ao cimento Portland convencional, com nítidos e exclusivos benefícios. Com tudo, ainda se faz necessário maiores incentivos e mais pesquisas sobre o assunto afim de estudar e sanar todas as possibilidades de riscos, possíveis aditivos que aumentem sua resistência, durabilidade e performance e ainda, um dia, ser uma alternativa consolidada e acessível a todos os que desejarem usá-lo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. EISINAS, A.; BALTAKYS, K.; SIAUCIUNAS, R.. The effect of gyrolite additive on the hydration properties of Portland cement. **Cement And Concrete Research**, [S.L.], v. 42, n. 1, p. 27-38, jan. 2012. Elsevier BV.
2. GOMES, C. E. M.; Alternative Binder for Fibercement Building Materials. *Advanced Materials Research Vols. 753-755 (2013)* pp 616-622. 2013
3. NILI, Mahmoud; EHSANI, Ahmad. Investigating the effect of the cement paste and transition zone on strength development of concrete containing nanosilica and silica fume. **Materials & Design**, v. 75, p. 174-183, jun. 2015. Elsevier BV.
4. SHAKHMENKO, Genady; JUHNEVICA, Inna; KORJAKINS, Aleksandrs. Influence of Sol-Gel Nanosilica on Hardening Processes and Physically-Mechanical Properties of Cement Paste. **Procedia Engineering**, v. 57, p. 1013-1021, 2013. Elsevier BV.



5. WALLING, Sam A.; PROVIS, John L.. Magnesia-Based Cements: a journey of 150 years, and cements for the future?. **Chemical Reviews**, v. 116, n. 7, p. 4170-4204, 22 mar. 2016. American Chemical Society (ACS).
6. WENHAI, Chen; CHENGYOU, Wu; HONGFA, Yu; SHUHAI, Zheng; FANGYU, Chen; HUIMIN, Zuo. Influences of Mineral Admixture On the Compressive strength of Magnesium Oxysulphate Cement. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENERGY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION, 5., 2016, Shenzhen. Atlantis Press, 2016. p. 890-894.
7. WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, (WBCSD). Toward a sustainable cement industry. Substudy 8: climate change. By Ken Humphreys and Maha Mahasenan. 2002.
8. WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, (WBCSD). The cement sustainability initiative, our agenda for action. 2002.
9. WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, (WBCSD). Climate Change. 2002.
10. ZHOU, Jiaqi; WU, Chengyou. Effects of nano-silica and silica fume on properties of magnesium oxysulfate cement. *Journal Of The Ceramic Society Of Japan*, v. 128, n. 3, p. 164-173, 1 mar. 2020. Ceramic Society of Japan.
11. ZHENG, Deng. Development and properties of new magnesium cement. Hefei university of technology, 2012.