

Estudo da adição de material carbonático ao compósito de óxido de magnésio em relação à sua resistência à compressão

Arthur Francisco Claro Ribeiro (1); Antônio de Paulo Peruzzi (2).

(1) Graduando, Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Civil

(2) Professor Doutor, Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Civil

Resumo

A indústria da construção civil tendo em vista sua variedade de possibilidades e necessidades especiais para cada construção passa por um processo constante de busca de inovação em materiais e métodos construtivos, seja para aumento de rentabilidade ou para empregos específicos. O cimento de magnésio foi desenvolvido há algum tempo, sendo que nos últimos 30 anos foram construídas 30 barragens na China, utilizando concreto com adição de óxido de magnésio aos concretos nesse país (Du Chongjiang, 2005). A partir daí foi observado o benefício da adição deste composto nos concretos, tais como a menor deformabilidade, melhoria na trabalhabilidade e menor condutividade térmica. As propriedades benéficas obtidas com essa incorporação aos concretos, despertou a possibilidade do estudo do óxido de magnésio (MgO) como geopolímero na construção civil, uma vez que ele já era usado na indústria de refratários e na odontologia. A relevância do tema também se dá no desenvolvimento e aplicações para esse geopolímero na construção civil e, no caso desse estudo, analisar a adição de calcário na forma de pó ao compósito formado pelo MgO e o Sulfato de Magnésio Heptahidratado, visando a melhoria das propriedades mecânicas e o barateamento do produto final.

Palavras-Chave: *Cimentos magnesianos, cimento Sorel, materiais de construção civil, Óxido de Magnésio, MOS*

1 INTRODUÇÃO

O desafio da indústria de materiais de construção inclui a criação de novas tecnologias que abarquem a redução da emissão de dióxido de carbono (CO₂) e outros poluentes, reciclar resíduos e subprodutos industriais e melhorar o desempenho dos materiais, para atender demandas de projeto mais ambiciosas e requisitos de maior durabilidade (Provis, 2014).

Por definição, compósito é “qualquer material multifásico que exiba uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem, de tal modo que é obtida uma melhor combinação de propriedades” (CALLISTER, 2016, p. 582). A presente pesquisa se desenvolveu com a ideia de obter-se um geopolímero utilizando óxido de magnésio (MgO) e o sulfato de magnésio heptahidratado (MgSO₄) e o calcário como carga, tendo como objeto de estudo a variação na quantidade de calcário na mistura, por se tratar de um material com um enorme potencial de exploração e de baixo valor agregado. A escolha do calcário como carga se deu pelo fato dele ser uma rocha sedimentar muito abundante que, segundo LUZ e LINS (2008, p. 365) representa de 3% a 4% da crosta terrestre e ser largamente utilizada na composição dos compósitos de fibrocimento, por exemplo.

O geopolímero pode ser explicado, de forma simplificada, como sendo um ligante que tem seu processo de endurecimento ativado por um meio alcalino. O endurecimento por resistência ocorre por meio de reações de policondensação e o resultado consiste em redes tridimensionais de aluminossilicatos inorgânicos (Schneider et al., 2011). Ou, como define PROVIS (2017), o termo “geopolímero” como um material usado para retratar ligantes de aluminossilicato com baixo teor de cálcio ativados alcalinamente.

A tecnologia dos cimentos de magnésio é relativamente antiga e basicamente consiste na mistura de MgO e sais específicos diluídos em água. Assim, quando o sal hexahidratado de cloreto de magnésio é adotado, o compósito obtido é o MOC é obtido, por sua vez, o compósito MOS pode ser produzido empregando o sal de sulfato de magnésio heptahidratado junto ao MgO.

As principais fases formadas na tecnologia MOC são Mg(OH)₂ (bruto), 3 Mg(OH)₂.MgCl₂.8H₂O (3-fase) e ou 5 Mg(OH)₂.MgCl₂.8H₂O (5-fase) (H. Qiao et al, 2015). A resistência do cimento

MOC à água é fraca e as fases cloradas são facilmente dissolvidas em $Mg(OH)_2$ e $MgCl_2$ (P. He, et al, 2018). Apesar disso, algumas propriedades podem ser melhores que as do cimento Portland na condição seca (Marmorato Gomes et al, 2018). Devido a isso, argamassas com alta resistência de aderência podem ser produzidas aplicando compósitos de cimento MOC (Marmorato Gomes et al., 2013).

Em relação ao MOS, são observadas fases microscópicas semelhantes, ou seja, $Mg(OH)_2$, $3 Mg(OH)_2 \cdot MgSO_4 \cdot 8H_2O$ (3-fase) e $5 Mg(OH)_2 \cdot MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (5 fases) (T. Demediuk, W. Cole, 1957). A principal aplicação do cimento MOS na engenharia civil é como placas isolantes leves (X. Zhou, Z, et al, 2012). Os compósitos à base de oxissulfato de magnésio apresentam algumas vantagens, tais como baixa condutividade térmica, boa resistência ao fogo e densidade de luz (C. Wu, et al, 2015). Apesar deste campo de aplicação, a durabilidade é a principal desvantagem de cimentos de magnésio em comparação com cimento Portland, devido à presença de fases solúveis ou expansivas nas matrizes.

Aditivos e misturas minerais podem melhorar as propriedades dos compósitos de magnésio, tal como ocorre nas propriedades de cimento Portland, tais como as cinzas volantes, sílica ativa e a sílica da casta de arroz para modificar as propriedades de cimentos MOC e MOS (Marmorato Gomes, 2021). Essa pesquisa foi realizada a partir do compósito MOS e a incorporação de várias proporções de calcário em pó a fim de melhorar as propriedades do compósito, tendo em vista que a pequena dimensão dos grãos do calcário em pó deve ter uma atividade benéfica ao compósito, nucleando a reação de formação do geopolímero, na densificação dele e, no custo final do produto viabilizando a sua aplicação do material na construção civil.

Esse Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) é apresentado segundo a estrutura de artigo científico.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Óxido de Magnésio

O MgO utilizado nessa pesquisa foi o mesmo usado nas pesquisas de Marmorato Gomes et al. (2021), fornecido pela IBAR Nordeste e são apresentados na Figura 1 e nas Tabelas 1 e 2.

Segundo o fabricante, o MgO foi calcinado abaixo de $\approx 1.200\text{ }^{\circ}\text{C}$ e o tempo de reação com ácido acético é de 180s.

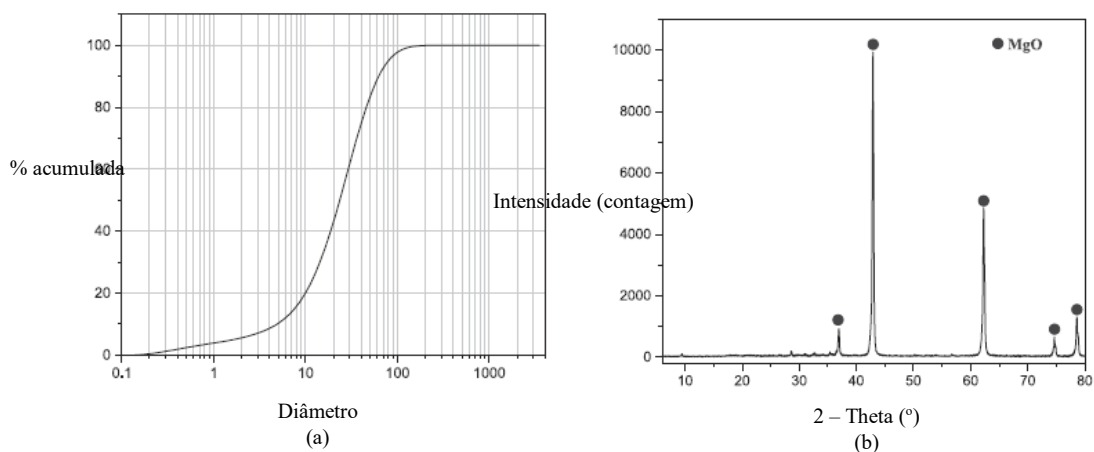


Figura 1 – a) curva de distribuição granulométrica b) difração de rx
(Fonte: Marmorato Gomes et al., 2021)

Tabela 1 – Composição química do MgO

Porcentagem em massa (%)					
MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MnO
91,74	3,99	0,21	2,14	1,75	0,17

Fonte: Marmorato Gomes et al., 2021)

Tabela 2 – Propriedades físicas do MgO

Área Específica (m ² /g)	Diâmetro (μm)		Massa específica (g/cm ³)
	D(50)	D(90)	
7,25	23,5	62,5	3,58

Fonte: Marmorato Gomes et al., 2021)

2.2 Calcário

O calcário utilizado na pesquisa foi fornecido por uma empresa do ramo de fabricação de telhas em fibrocimento e a Tabela 3 apresenta os ensaios de caracterização realizados e a suas respectivas normas.

Tabela 3: Ensaios realizados para caracterização do calcário e os métodos usados

Ensaio	Método
Massa unitária	ABNT NBR NM 45:2006 - Agregados - Determinação da massa de unitária e volume de vazios
Massa específica	ABNT NBR 16605:2017 - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica
Granulometria	ABNT NBR 7181:2016 – Solo – Análise granulométrica
Umidade	ABNT NBR 6457:2016 – Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização

Fonte: Autor (2022)

Um ensaio importante foi a difração de raio-X (DRX), realizado no Laboratório do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia (Figura 2).



a)

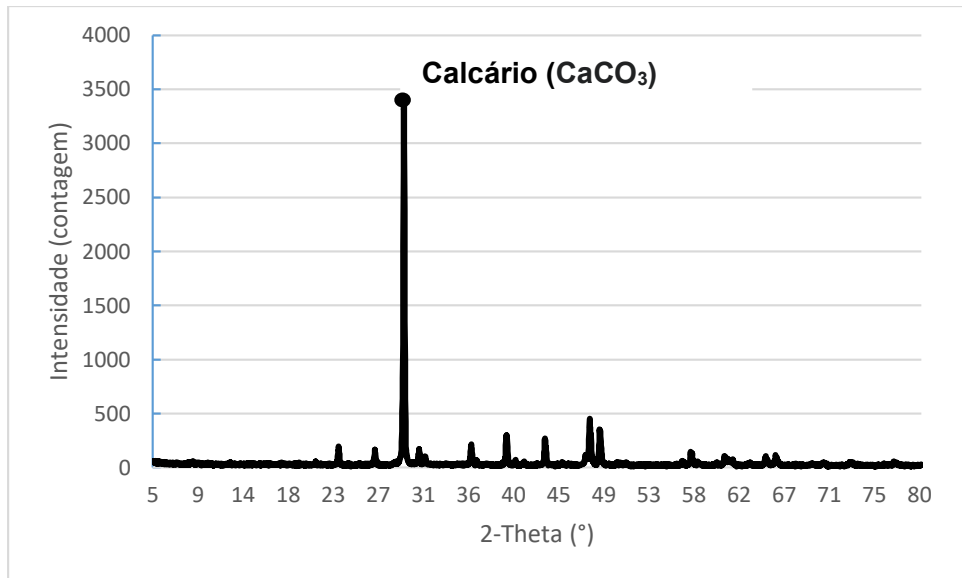
b)

Figura 2 - a) Material seco b) Equipamento utilizado no ensaio de DRX.

(Fonte: Autor, 2022)

A composição química desse material foi caracterizada pela fluorescência de raios X (XRF) com o equipamento XRD-6000 da Shimadzu, cujos os resultados estão dispostos na Figura 3.

Figura 3: Difração de raio-x do calcário

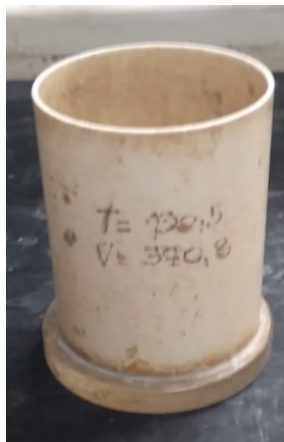


Fonte: Autor (2022)

2.2.1 Determinação da Massa unitária do calcário

Para determinação da massa unitária do calcário em pó foi utilizada a norma ABNT NBR NM 45:2006 - Agregados - Determinação da massa de unitária e volume de vazios. Pela Figura 4 é possível ver a recipiente com volume e tara determinados usado na determinação da massa unitária do calcário.

Figura 4: Recipiente com tara e volume conhecidos usado para determinação de massa unitária



Fonte: Autor (2022).

2.2.2 Determinação da Massa específica do calcário

A massa específica do calcário foi determinada seguindo a norma de cimento ABNT NBR 16605:2017 - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica, por meio do frasco de Chapman (Figura 5).

Figura 5: Frasco de Chapman usado para determinação de massa específica.



Fonte: Autor (2022).

2.2.3 Análise granulométrica

Já para o ensaio de granulometria, uma vez que o calcário em pó utilizado é muito fino para se usar a norma ABNT NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica, foi traçado um paralelo conceitual entre o pó de calcário utilizado e solos finos habitualmente utilizado pela área de geotecnia, apresentando uma compatibilidade aceitável. Assim, a análise granulométrica foi feita segundo a norma ABNT NBR 7181:2016 – Solo – Análise granulométrica.

Segundo a norma ABNT NBR 7181:2016 é feito o peneiramento grosso, peneiramento fino, sedimentação, ou uma associação destes, a depender das frações que ocorrem no material. Na primeira etapa, de peneiramento grosso, foi verificado que não houve nenhuma parcela retida nas peneiras, então seguiu-se para as outras etapas. Para o experimento de sedimentação e peneiramento fino, tomou-se cerca de 70g de pó de calcário seco e a amostra foi colocada em um Becker e misturada com 125 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (defloculante) e ficou em repouso por 12 horas (Figura 6).

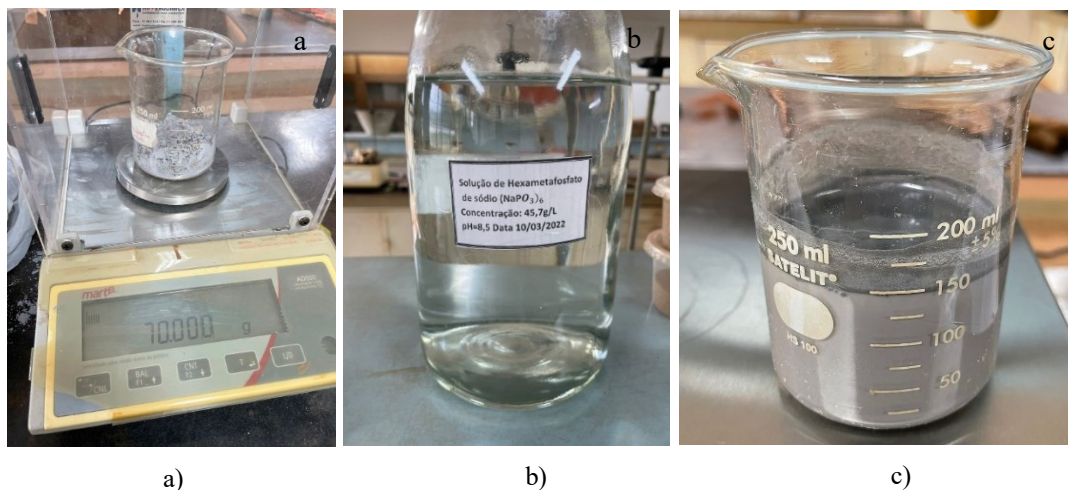


Figura 6: Experimento de sedimentação segundo ABNT NBR 7181:2016. (a) Amostra seca, (b) Solução de hexametáfosfato de sódio (c) amostra em solução.

(Fonte: Autor, 2022)

A amostra de pó de calcário foi transferida para um dispersor mecânico e os procedimentos que se seguiram foram todos realizados de acordo com a norma ABNT NBR 7181:2016, ao final a suspensão foi homogeneizada para o início do ensaio de sedimentação da amostra (Figura 7).

As leituras feitas no densímetro e no termômetro foram realizadas nos tempos (em minutos) de: 0,5; 1; 2; 4; 8; 15; 30; 60; 120; 240; 480 e 1440. Após a leitura de 24 h, o conteúdo da proveta foi passado na #200 (0,075 mm de abertura) e lavado em água corrente.



a)



b)

Figura 7 – a) Amostra homogeneizada para início do ensaio de sedimentação b) Densímetro e termômetros utilizados.

(Fonte: Autor, 2022)

Para a realização do peneiramento fino, foi montado um conjunto de seis peneiras com aberturas menores que 2,0 mm (Figura 8) e agitadas por 15 minutos. A precisão da balança utilizada foi de 0,01 g. Por fim, obteve-se a curva granulométrica do solo.



a)

b)

Figura 8: Peneiramento fino da amostra segundo ABNT NBR 7181:2016 (a) Conjunto de peneiras (b) Amostra peneirada
(Fonte: Autor, 2022)

Durante a realização do ensaio de Análise Granulométrica foi feito também tomado cerca de 100 g para três determinações da umidade higroscópica (w) e levado a estufa à 100 °C por 24 horas (Figura 9), de acordo com a ABNT NBR 6457:2016 - Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.



Figura 9: Experimento de teor de umidade segundo ABNT NBR 6457:2016. (a) Amostra seca ao ar (b)

Estufa utilizada

(Fonte: Autor, 2022)

2.3 Preparo dos corpos de prova

Primeiramente moldou-se a amostra de referência composto de MgO e MgSO₄, sem a incorporação do calcário chamado REF. Daí passou-se a incorporar o pó de calcário nas proporções 15%, 25%, 35% e 45% sob a massa total a partir da amostra padrão, ou seja, MgO + MgSO₄ + água, dando origem às amostras CALC15; CALC25; CALC35 E CALC45, correspondentemente (Tabela 4).

Tabela 4: Composições de compósitos de magnésio estudados

Traço	MgO (g)		MgSO ₄ (g)	H ₂ O (L)	Concentração de sal (g/L)	Calcário (g)		Relação AS/P*
	Massa	Porcentagem				0	Porcentagem	
REF	960	54,5%	240	0,560	428,6	0	0%	0,83
CALC15	816	46,4%	204	0,476	428,6	264	15%	0,63
CALC25	720	40,9%	180	0,420	428,6	440	25%	0,52
CALC35	624	35,5%	156	0,364	428,6	616	35%	0,42
CALC 45	528	30,0%	132	0,308	428,6	792	45%	0,33

(*) Relação água salgada/pó (MgO+calcário)

Fonte: Autor (2022)

A ordem de preparo dos compósitos foi:

- (1) mistura de MgO e calcário em pó (exceto a amostra de referência);
- (2) dissolução do sal $MgSO_4$ em água a uma concentração de 428,6 g/L;
- (3) homogeneização dos compostos secos com a água salgada e
- (4) moldagem dos corpos de prova cilíndricos 5cmx10cm.

Para a moldagem de corpos de prova utilizados na pesquisa utilizou-se a norma ABNT NBR 5738:2015 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Seguindo essa norma, foram moldados corpos de prova com diâmetro de 5 centímetros e altura de 10 centímetros, utilizando-se moldes de aço (Figura 10). O processo de cura usado nas amostras foi de 28 dias, ao ar, em temperatura ambiente do laboratório

Figura 10: Corpo de prova cilíndrico após deforma e cura.



Fonte: Autor (2022).

2.4 Ensaios

O parâmetro analisado nessa pesquisa foi a resistência à compressão seguindo os parâmetros da norma ABNT 5739:2018 – Concreto – Ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos.

Tabela 5: Tipo de ensaio, normas de referência e número de amostras a serem estudadas no estado endurecido

Ensaio	Norma de referência	Número de amostra por traço
Compressão axial	ABNT NBR 5739:2018 Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos	6

Fonte: Autor (2022)

A máquina de ensaios utilizada foi a Emic, modelo DL60000 com célula de carga de 600 kN, representado na Figura 11 e a Figura 12 traz as amostras cilíndricas de 5cm x10cm após o ensaio à compressão axial. A validação estatística dos resultados foi feita por meio do critério de Chauvenet.

Figura 11: Aparelho utilizado no ensaio de compressão



Fonte: Autor (2022)

Figura 12: Corpos de prova rompidos



Fonte: Autor (2022)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ensaio de caracterização do calcário

Na determinação da massa unitária, massa específica e teor de umidade, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 6, Tabela 7 e Tabela 8, respectivamente.

Tabela 6: Determinação da massa unitária do pó de calcário.

Amostras	Massa (g)	Massa média (g)	Volume (cm ³)	Massa unitária
M1	385,98			
M2	387,79	386,85	370,80	1,043 g/cm ³ (1043 kg/m ³)
M3	386,79			

Fonte: Autor (2022)

Tabela 7: Determinação da massa específica do pó de calcário.

Massa (g)	Leitura inicial (cm ³)	Leitura final (cm ³)	Massa específica
60,00	0	22	2,7272 g/cm ³ (2727,2 kg/m ³)

Fonte: Autor (2022)

Esses resultados são condizentes com aqueles obtidos na caracterização do pó de calcário segundo Barra, Breno Salgado (2005), de 2.710 g/cm³.

Tabela 8: Determinação da umidade higroscópica do pó de calcário.

Amostras	M1	M2	M3
Solo úmido + tara (g)	45,100	48,689	47,434
Solo seco + tara (g)	44,962	48,543	47,263
Água (g)	0,138	0,146	0,171
Tara (g)	15,050	18,671	17,410
Solo seco (g)	29,912	29,872	29,853
Umidade (%)	0,46	0,49	0,57
Umidade média (%)	0,51		

Fonte: Autor (2022)

O material mostrou que seu estado seco ao ar não apresenta grandes taxas de absorção de umidade ambiente.

O ensaio de sedimentação foi realizado no Laboratório de Geotecnia da Universidade Federal de Uberlândia, os resultados estão apresentados na Tabela 9. Foi utilizado no experimento o Densímetro 6.

Tabela 9: Ensaio de sedimentação do pó de calcário

t (min)	L (g/cm ³)	z (cm)	T (°C)	$\mu(10E-6 \text{ gxs/cm}^2)$	Ld g/cm ³	Qs	d (cm)
0,5	1,033	12,652	26	9,13	1,000738	73,29807	0,0638508
1	1,03	13,27	26	9,13	1,000738	66,48226	0,0462388
2	1,027	13,888	26	9,13	1,000738	59,66646	0,0334485
4	1,021	14,07688	26	9,0275	1,000738	46,03485	0,0288046
8	1,014	15,51888	26	9,0275	1,000738	30,13131	0,0213858
15	1,01	16,34288	26	9,0275	1,000738	21,04357	0,0160272
30	1,007	16,96088	26	9,0275	1,000738	14,22776	0,0115452
60	1,005	17,37288	26	9,1517	1,000738	9,683895	0,0082623
120	1,004	17,57888	26,5	9,1103	1,000466	8,029103	0,0058768
240	1,003	17,78488	26,5	8,924	1,000466	5,757168	0,0041798
480	1,002	17,99088	27	8,8205	1,000188	4,116064	0,0029727
1440	1,002	17,99088	26	9,13	1,000738	2,86809	0,0017163

Fonte: Autor (2022)

Dando sequência, os resultados do ensaio de análise granulométrica conjunta são apresentados na Tabela 10, sendo dividido em peneiramento grosso, peneiramento fino e sedimentação.

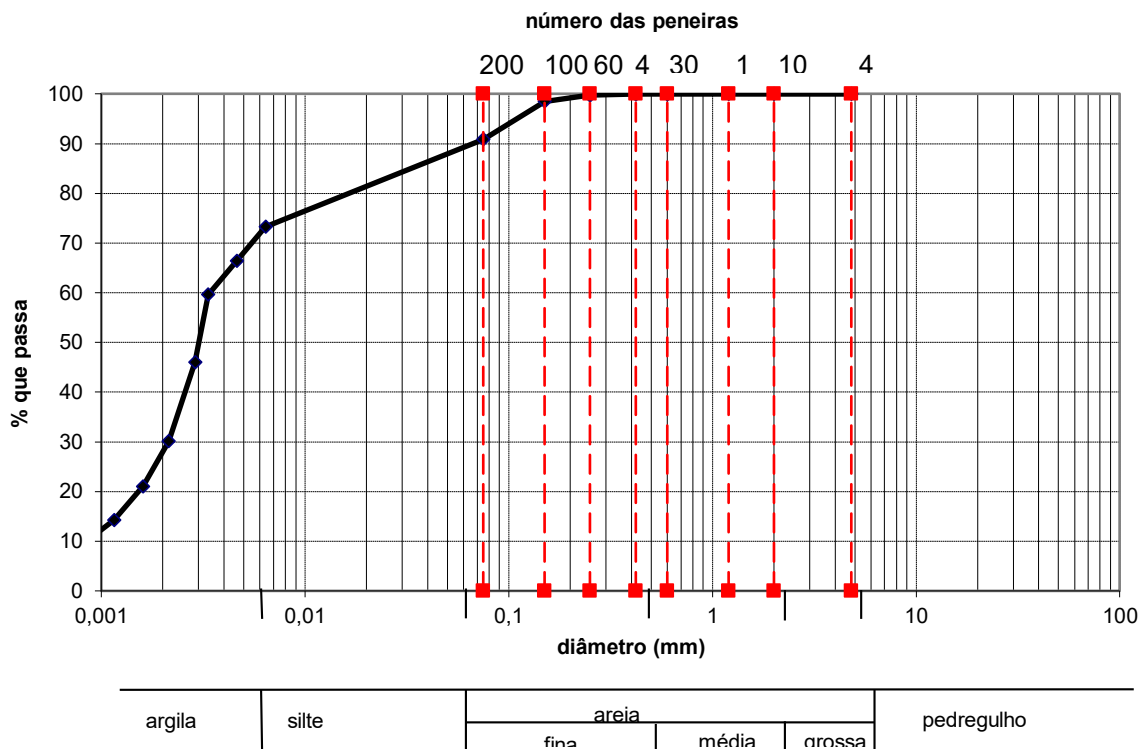
Tabela 10: Análise granulométrica conjunta

	Porcentagem que passa (%)	Diâmetro (mm)
	100	19
Peneiramento grosso	100	9,5
	100	4,8
	100	2
	100	1,2
Peneiramento fino	99,985	0,6
	99,971	0,42
	99,759	0,25
	98,500	0,15
	90,914	0,075
Sedimentação	90,914	0,063850771
	38,653	0,046238849
	37,313	0,033448482
	33,963	0,02880465
	31,283	0,021385755
	29,274	0,016027215
	27,904	0,01154524
	25,164	0,008262276
	11,826	0,005876847
	2,569	0,004179836
	2,789	0,002972658
2,269	0,001716265	

Fonte: Autor (2022)

Por fim, a partir dos dados do ensaio de análise granulométrica conjunta, foi possível elaborar a curva granulométrica do pó de calcário, que está representada na Figura 13.

Figura 13: Curva granulométrica



Fonte: Autor (2022)

A partir da curva granulométrica, conclui-se que trata de um material extremamente fino, sendo que aproximadamente 72% de suas partículas tem diâmetro menores que 0,01 mm.

3.2 Resistência à compressão das amostras

A tabela 11 mostra os resultados obtidos no ensaio de compressão variando-se a proporção de calcário na mistura.

Tabela 11: Resultados obtidos no ensaio de compressão e análise estatística de dados segundo critério de Chauvenet

Tipo de amostra	CP	Resistência à compressão do CP (MPa)	Desvio	Resistência à compressão média (MPa)
REF	1	14,15	0,06	13,34
	2	10,22*	-0,23	
	3	12,04	-0,10	
	4	14,29	0,07	
	5	9,42*	-0,29	
	6	12,86	-0,04	
		13,34		
CALC15	1	12,4	-0,07	13,40
	2	13,4	0,00	
	3	13,45	0,00	
	4	13,07	-0,02	
	5	15,51*	0,16	
	6	14,67	0,09	
		13,40		
CALC25	1	15,42	0,00	15,35
	2	16,31	0,06	
	3	16,19	0,06	
	4	13,46	-0,12	
	5	18,35*	0,20	
	6	12,88*	-0,16	
		15,35		
CALC35	1	14,59*	-0,17	17,61
	2	11,27*	-0,36	
	3	18,04	0,02	
	4	17,57	0,00	
	5	17,00	-0,03	
	6	17,81	0,01	
		17,61		
CALC45	1	13,29	-0,04	13,82
	2	14,29	0,03	
	3	13,73	-0,01	
	4**	13,96	0,01	
		13,82		

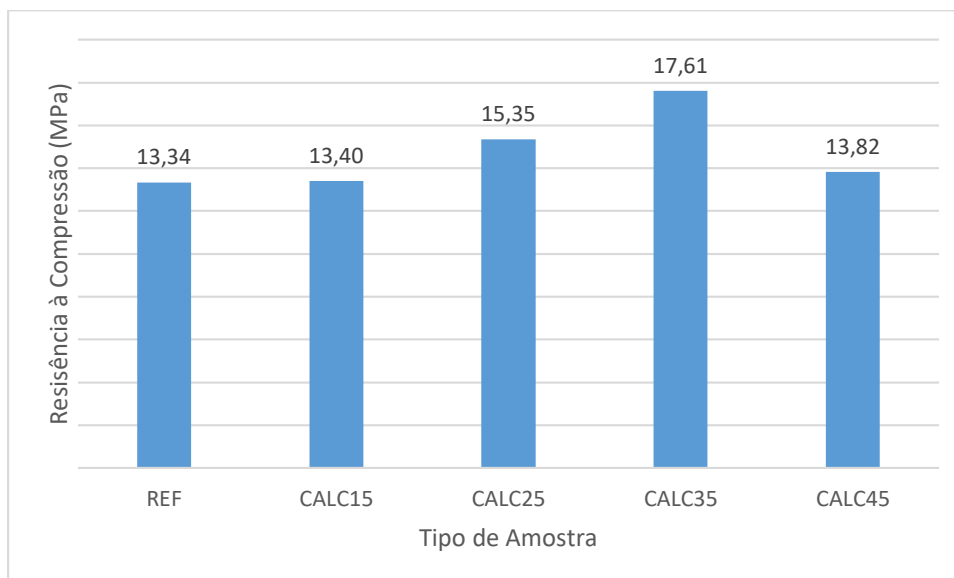
(*) Amostra descartada pelo critério de Chauvenet.

(**) dos 6 corpos de prova do lote, 2 sofreram avarias e foram descartados.

Fonte: Autor (2022)

Os dados da Tabela 11 estão dispostos na Figura 14 a seguir.

Figura 14: Resultados obtidos do ensaio de compressão



Fonte: Autor (2022)

4 CONCLUSÃO

Por meio desse estudo, evidenciam que a resistência do compósito à compressão é melhorada conforme é incorporado calcário na mistura, tendo como comparação os resultados obtidos pelos corpos de prova do traço REF. É observado que o traço que apresentou melhor resultado foi a composição CALC35 (35% da massa total de calcário), apresentando uma melhoria de 32% na resistência média a compressão quando comparado com o traço sem adição de calcário. Entretanto, a partir desse ponto, se observa-se que a adição de mais calcário prejudica a resistência, portanto, atinge seu ponto ótimo em valores próximos a essa combinação. Ressalte-se aqui que, por problemas encontrados em 2 amostras, apenas 4 delas foram usadas na média, embora a dispersão de dados tenha sido pequena.

Embora a presente pesquisa tenha apresentado resultados satisfatórios e viáveis, mostrando que a adição de calcário em pó é uma forma técnica e econômica viável de modificar os compósitos de MgO, ela pode ser classificada como exploratória. Outrossim, recomenda-se que sejam feitos ensaios de resistência a tração, e foi analisado posteriormente a existência de normas consagradas que atendem melhor os objetivos da pesquisa, são elas: ASTM C348-19 (Standard test method for flexural strength of hydraulic-cement mortars, 2008) e ASTM C349-

18 (Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic-Cement Mortars (Using Portions of Prisms Broken in Flexure, 2018).

Os parâmetros estudados nessa pesquisa devem ser completados por análises que podem interferir diretamente na relação quantidade de MgO x quantidade de calcário adicionado, como por exemplo: a relação entre a quantidade de água salgada e o de pó de calcário, além da relevância da razão molar dos compostos nos resultados obtidos.

5 AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ser sempre minha força e meu amparo em todos os momentos. Aos meus pais José Francisco e Denise que são meu alicerce e sempre me apoiarem, ao meu irmão Iuri por todo companheirismo durante a vida e a toda minha família, em especial aos meus avôs Walter (in memoriam) e Marlene, que sempre serão meu exemplo e minha base. E a todos meus amigos que estiveram de alguma forma comigo nessa trajetória.

Agradeço ao corpo docente, técnicos e funcionários da Universidade Federal de Uberlândia que me ajudaram durante minha graduação e na formulação deste trabalho, em especial ao meu orientador Professor Dr. Peruzzi, por todo auxílio.

6 REFERÊNCIAS

DU, Chongjiang. A review of magnesium oxide in concrete. **Concrete international**, v. 27, n. 12, p. 45-50, 2005.

GOMES, Carlos Marmorato et al. **Improvement of water resistance in magnesia cements with renewable source silica**. *Construction and Building Materials*, v. 272, p. 121650, 2021.

Provis, J.L., 2014. **Geopolymers and other alkali activated materials: why, how, and what?** *Mater. Struct.* 47, 11–25. <https://doi.org/10.1617/s11527-013-0211-5>.

CALLISTER, W. D. J.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução** – 9ª Edição, 2016.

LUZ, A. B.(Ed.); LINS, F. A. F.(Ed). **Rochas & minerais Industriais: usos e especificações**. 2.Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 990p.

Schneider, M., Romer, M., Tschudin, M., Bolio, H., 2011. **Sustainable cement production** — present and future. *Cem. Concr. Res.* 41, 642–650. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.03.019>.

PROVIS, 2017 PROVIS, J.L. Alkali-activated materials. *Cement and Concrete Research*, Mar. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884616307700>>. Acesso em: 20 fev. 2022.

H. Qiao, B. Zhu, Y. Shi, J. Dong, M. Wanjiru. **Strength development and micromechanism of magnesium oxychloride cement concretes**, *Mater. Res. Innovations* 19 (2015) 185–190

P. He, C. Poon, D. Tsang. **Comparison of glass powder and pulverized fuel ash for improving the water resistance of magnesium oxychloride cement**. *Cem. Concr. Compos.* 86 (2018) 98–109

C.M. Gomes, A.D.S. de Oliveira, **Chemical phases and microstructural analysis of pastes based on magnesia cement**, *Constr. Build. Mater.* 188 (2018) 615– 620, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.083>

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. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.753-755.616>.

T. Demediuk, W. Cole, **A study of mangesium oxysulphates**, *Aust. J. Chem.* 10 (3) (1957) 287–294, <https://doi.org/10.1071/CH9570287>.

X. Zhou, Z. Li, Light-weight wood–magnesium oxychloride cement composite building products made by extrusion, *Constr. Build. Mater.* 27 (1) (2012) 382– 389, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.07.033>

C. Wu, H. Yu, H. Zhang, J. Dong, J. Wen, Y. Tan, **Effects of phosphoric acid and phosphates on magnesium oxysulfate cement**, *Mater. Struct.* 48 (4) (2015) 907–917, <https://doi.org/10.1617/s11527-013-0202-6>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: - Agregados - Determinação da massa de unitária e volume de vazios, Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**: - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica, Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, Rio de Janeiro, 2016.

Avaliação do desempenho mecânico de misturas asfálticas densas utilizando materiais do Estado do Pará com o emprego de pó calcário, p. 106, Barra, Breno Salgado (2005).

ASTM International, **ASTM C348-19**, Standard test method for flexural strength of hydraulic-cement mortars, 2008.

ASTM International, **ASTM C349-18**, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic-Cement Mortars (Using Portions of Prisms Broken in Flexure), 2018.