

AValiação dos Efeitos da Adição de Silicato de Etila em Pastas e Argamassas de Cimento Portland

Moura, Adriana Fiori¹; Pereira, Eduardo²; Pedroso, Maria Vitória³; Langaro, Eloise Aparecida⁴.

¹ Doutoranda no Programa de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Estadual de Ponta Grossa e Professora no Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Ponta Grossa, adrianamoura@uepg.br

² Professor no Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Ponta Grossa, eduardopereira@uepg.br

³ Graduanda de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 23015521@uepg.br

⁴ Professora no Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Ponta Grossa, ealangaro@uepg.br

Resumo: Um dos principais objetivos da indústria de materiais de construção civil é promover materiais capazes de aprimorar as propriedades de concretos e argamassas, principalmente quando se busca melhorar o desempenho, aumentar a durabilidade e prolongar a sua vida útil. Neste contexto, um produto promissor é o silicato de etila, conhecido como ortosilicato de tetraetila (TEOS). Estudos apontam que o TEOS pode reduzir a porosidade e permeabilidade de concretos e mitigar a reação álcali-agregado. No entanto, ainda são escassas as investigações voltadas à sua incorporação direta em argamassas e concretos e a compreensão dos efeitos causados no estado fresco e endurecido. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da adição de TEOS, em diferentes proporções (1%, 5% e 10% em relação à massa de cimento), em pastas de cimento e em argamassas, para analisar as propriedades no estado fresco e endurecido. Para isso, foram realizados ensaios de índice de consistência no estado fresco, e resistência à compressão aos 7 e 28 dias para as pastas e argamassas, além de análise de microscopia de varredura das pastas. Os resultados mostraram redução no índice de consistência e na resistência à compressão aos 7 e 28 dias. No entanto, para as pastas com menor relação a/c e maiores teores de TEOS, observaram-se ganhos de resistência em 28 dias. As imagens de MEV revelaram maior presença de sílica gel e redução da Portlandita nas amostras com TEOS, sugerindo maior compactidade da microestrutura.

Palavras-chave: Pasta de Cimento, Argamassa, Silicato de Etila, Estado Fresco, Estado Endurecido.

Abstract: One of the main objectives of the building materials industry is to promote materials capable of improving the properties of concrete and mortar, especially when it comes to improving performance, increasing durability and extending their useful life. In this context, one promising product is ethyl silicate, known as tetraethyl orthosilicate (TEOS). Studies show that TEOS can reduce the porosity and permeability of concrete and mitigate the alkali-aggregate reaction. However, there is still little research into its direct incorporation into mortars and concretes and an understanding of the effects caused in the fresh and hardened state. The aim of this study was to evaluate the effects of adding TEOS in different proportions (1%, 5% and 10% in relation to the mass of cement) to cement pastes and mortars, in order to analyze the properties in the fresh and hardened state. For this, tests were carried out on the consistency index in the fresh state, and compressive strength at 7 and 28 days for the pastes and mortars, as well as scanning microscopy analysis of the pastes. The results showed a reduction in the consistency index and compressive strength at 7 and 28 days. However, for pastes with a lower w/c ratio and higher TEOS content, there were gains in strength at 28 days. SEM images revealed a greater presence of silica gel and a reduction in Portlandite in the TEOS samples, suggesting greater compactness of the microstructure.

Keywords: Cement paste, Mortar, Ethyl Silicate, Fresh State, Hardened State.

1. Introdução

O uso de silicatos de etila (TEOS) em diferentes pesquisas tem ganhado notoriedade por possuir propriedade hidrofóbica, capaz de bloquear poros e reduzir a porosidade do concreto quando usado como tratamento de superfície [1-2], além de mostrar capacidade de redução da expansão de argamassas devidos à reação álcali-agregado, quando utilizado em proporções adequadas [3].

Os silicatos de etila são fontes eficazes de sílica gel amorfa (SiO_2), possuem baixa viscosidade e podem se mostrar capazes de preencher as microfissuras e poros na pasta de cimento e na interface pasta-agregado, criando uma barreira física que impede a entrada de água [4-5]. Em comparação com outras fontes de sílica, como sílica ativa e nanosílica, o TEOS apresenta a vantagem de penetrar facilmente na matriz devido à sua baixa viscosidade, favorecendo uma modificação mais interna da microestrutura. Enquanto as adições minerais convencionais atuam como nucleantes ou pozolanas reativas, o TEOS forma sílica gel *in situ* por meio de reações químicas com a água da mistura, alterando a estrutura de poros de maneira mais uniforme e contínua [6,7].

A reação dos silicatos de etila ocorre em duas etapas. Primeiro há a hidrólise, formando silanol e etanol; depois há o processo de desidratação e condensação do silanol, resultando na precipitação da sílica gel amorfa que preenche os poros do material. Essa formação de gel, por sua vez, pode preencher vazios na matriz cimentícia e interagir com os produtos de hidratação, contribuindo para o aumento da compacidade e, potencialmente, para o desempenho mecânico a longo prazo [6].

Estudos demonstram que o TEOS atua como consolidante ao promover a formação de sílica amorfa *in situ*, que reage com hidróxido de cálcio (Portlandita ou CH) para gerar silicato de cálcio hidratado (C-S-H) adicionais, densificando a matriz cimentícia. Além disso, observou-se que o preenchimento dos poros capilares de 0,01 a 1 μm contribui para a redução da porosidade e aumento da resistência mecânica [8]. Em argamassas e concretos, essa sílica reage com o CH, presente nos poros, formando o C-S-H, que é responsável pelas propriedades mecânicas do material [9]. Ou seja, os produtos influenciam na quantidade de vazios existentes na pasta de cimento, que por consequência, podem melhorar as propriedades mecânicas do material.

Há indícios que o TEOS reduz o pico exotérmico máximo durante o processo de hidratação, o que pode levar a um ligeiro retardamento no desenvolvimento da resistência inicial de materiais cimentícios [10]. Isto é, inicialmente, o TEOS pode não melhorar significativamente as propriedades mecânicas dos materiais à base de cimento. Todavia, com o prolongamento do período de cura, esses materiais tratados com TEOS apresentam melhorias notáveis nas propriedades mecânicas, como aumento da resistência à compressão e maior durabilidade, incluindo redução da porosidade e da permeabilidade. Tais melhorias são atribuídas à formação adicional de fases de C-S-H resultante da interação entre o TEOS e a matriz cimentícia [7,10-12].

Dentro das patentes referenciadas [4,5] são mostrados diversos exemplos de utilização do TEOS. Uma possível utilização é como adição no momento da fabricação do concreto e argamassa. Embora a literatura internacional destaque os benefícios do uso do TEOS como tratamento de superfície, ainda são escassos os estudos sobre sua incorporação direta em misturas de pastas e argamassas. Essa lacuna se apresenta no que se refere ao comportamento no estado fresco e às implicações microestruturais observadas por meio de microscopia eletrônica.

A maioria das pesquisas concentra-se nos efeitos de durabilidade a longo prazo, deixando pouco explorado o impacto imediato da adição do TEOS durante a mistura. Assim, é fundamental avaliar os efeitos da adição desses produtos nas argamassas, tanto no estado fresco quanto no endurecido, visto que a adição do material pode alterar diversas propriedades. Com isso, o objetivo deste trabalho é analisar a adição de um tipo de ortosilicato de etila em pastas e argamassa, para avaliar o impacto do seu uso no estado fresco e endurecido dos materiais, além de sua influência na formação de compostos na microestrutura oriundos de sua interação com a matriz cimentícia.

2. Materiais e Métodos

2.1 Materiais

Os materiais utilizados foram cimento CP-V de alta resistência inicial (ARI), agregado miúdo e silicato de etila (TEOS) na forma de TS28. O TS28 contém até 28% de sílica e fórmula química aproximada $C_8H_{20}O_4Si$. O cimento CP-V ARI foi adotado nesta pesquisa pois apresenta menores teores de adição, podendo conter até 10% de material carbonático. O agregado utilizado para a composição das argamassas é um pó de pedra, proveniente da região de Curitiba (PR), e trata-se de um gnaiss, com massa específica igual a 2,61 g/cm³. Este agregado foi escolhido devido ao seu potencial reativo [1]. Este será utilizado nas granulometrias e proporções descritas na NBR 15577:2018 [13]. A composição química do cimento e características do TEOS estão expostos nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Composição química média do cimento CPV, em %

Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Perda ao fogo	CaO livre	Resíd. Insol.	Equiv. Alcal.
4,39	18,6	3,69	61,3	3,37	2,7	3,56	1,65	0,83	0,68

Fonte: Cimento Itambé, 2025 [14]

Tabela 2: Características do silicato de etila

Características	Composição química	Aspecto	Densidade (g/cm ³) 20°C	% SiO ₂	Viscosidade a 25°C	Índice de refração a 25°C	Proporção de sólidos
Siliethyl TS28 (TEOS)	Ortosilicato de tetraetila	Claro	0,93 a 0,94	Mín. 28	Aprox. 1	1,381 a 1,383	10,91% ¹

Fonte: Datiquim, 2019 [15] e os autores¹

2.2 Métodos

2.1.1 Produção das pastas

As pastas de cimento foram moldadas com o intuito de compreender o comportamento da adição do TEOS e as interações físicas com o cimento. Compostas por cimento e água, com relação a/c de 0,47 e 0,57, e TEOS nos teores de 0%, 1%, 5% e 10%, calculados a partir da massa de cimento. Como o silicato de etila têm uma porção líquida e outra sólida (10,91%), foi necessário corrigir a quantidade de água a ser adicionada nos traços, para manter a relação a/c estipulada.

As amostras foram moldadas em moldes cilíndricos de 2 cm de diâmetro por 4 cm de altura, respeitando a proporção 1:2 para o ensaio de resistência à compressão. Após o desmolde, essas amostras foram submetidas à solução de água saturada com cal durante o período da cura, como orienta a ABNT NBR 5738:2015 [16]. As pastas permaneceram em cura até a data dos ensaios.

2.1.2 Produção das argamassas

Para a moldagem das argamassas, as relações a/c utilizadas foram as mesmas das pastas, e a proporção de cimento/agregado miúdo foi de 1:2,25, conforme prescreve a NBR 15577:2018 [13], em sua parte 4. Dessa forma, os traços utilizados foram 1:2,25:0,47 e 1:2,25:0,57. Ambos os traços foram produzidos com 0% de adição de TEOS (traço de referência), e com 1%, 5% e 10% de TEOS, seguindo os mesmos parâmetros das pastas.

Para os ensaios no estado endurecido, as argamassas foram moldadas em corpos de prova cilíndricos, com 5 cm de diâmetro por 10 cm de altura, respeitando a proporção 1:2 para o ensaio de resistência à compressão. E, após a desmoldagem, as amostras seguiram para cura em água saturada com cal, permanecendo neste ambiente até a data dos ensaios.

2.3 Ensaios

2.3.1 Ensaio de índice de consistência

Antes da moldagem dos corpos de prova de pasta de cimento e argamassa, foi realizado o ensaio de índice de consistência (IC) (NBR 13276:2016) [17], com o objetivo de avaliar o espalhamento, a consistência, a homogeneidade e a sensibilidade das misturas à adição de TEOS. Neste contexto, a sensibilidade foi entendida como a variação no comportamento das misturas no estado fresco em função do teor de TEOS adicionado. A avaliação foi feita por meio da comparação dos resultados obtidos para as diferentes composições, permitindo identificar alterações na capacidade de espalhamento, na coesão e na estabilidade das misturas.

Para realizar esse ensaio, tanto as pastas de cimento quanto as argamassas, foram moldadas e colocadas na mesa de adensamento, em um molde tronco-cônico. Após o preenchimento, a superfície é nivelada, o tronco é removido e a mesa sofre 30

impactos em 30 segundos. Por fim, são feitas três medidas do diâmetro de espalhamento, e a média desses valores é registrada. Quanto à altura do tronco de cone, para as pastas foi usado o molde com 2,5 cm de altura; já para as argamassas foi utilizado o molde com 6 cm de altura.

2.3.2 Ensaio de resistência à compressão em pastas e argamassas

O ensaio foi realizado conforme prescrições da NBR 13279:2005 [18]. Para a realização do ensaio, os corpos de prova foram retificados em suas bases a fim de garantir a aplicação de carga uniforme no ensaio. A resistência à compressão foi aferida nas idades de 7 e 28 dias. Para a realização do ensaio foram utilizados 6 corpos de prova de cada traço, sendo 3 para os rompimentos em cada uma das idades citadas.

2.3.3 Análise de Microscopia Eletrônica de Varredura

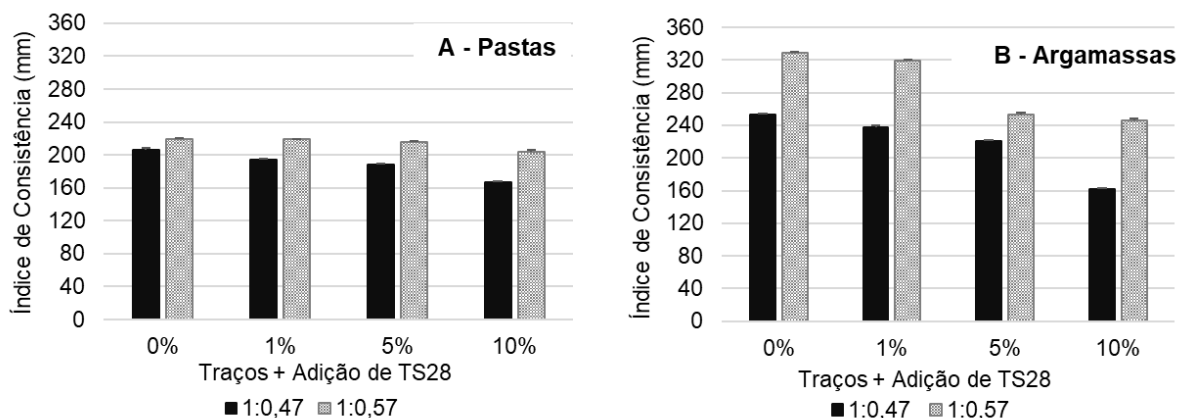
As análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas em um equipamento Tescan Mira 3 FEG SEM, equipado com detectores de elétrons secundários (SE) e retroespalhados (BSE). Para assegurar a qualidade das imagens obtidas, as amostras foram previamente secas em estufa e posteriormente recobertas com uma fina camada de ouro, a fim de minimizar ruídos e melhorar a condutividade elétrica da superfície.

3. Resultados

3.1 Resultados do índice de consistência

A Figura 2 apresenta os resultados da análise do IC das pastas e argamassas em função da adição do TEOS. De maneira geral, observa-se que, para ambos os traços, a adição progressiva de TEOS promoveu uma redução do IC nas misturas.

Figura 2: Índice de consistência das pastas (A) e das argamassas (B), em mm



As Figuras 3 e 4 apresentam registros visuais das misturas após o ensaio de índice de consistência, com o objetivo de ilustrar qualitativamente o efeito do teor de TEOS sobre as misturas.

Figura 3: Espalhamento das pastas com diferentes relações a/c e teores de TEOS

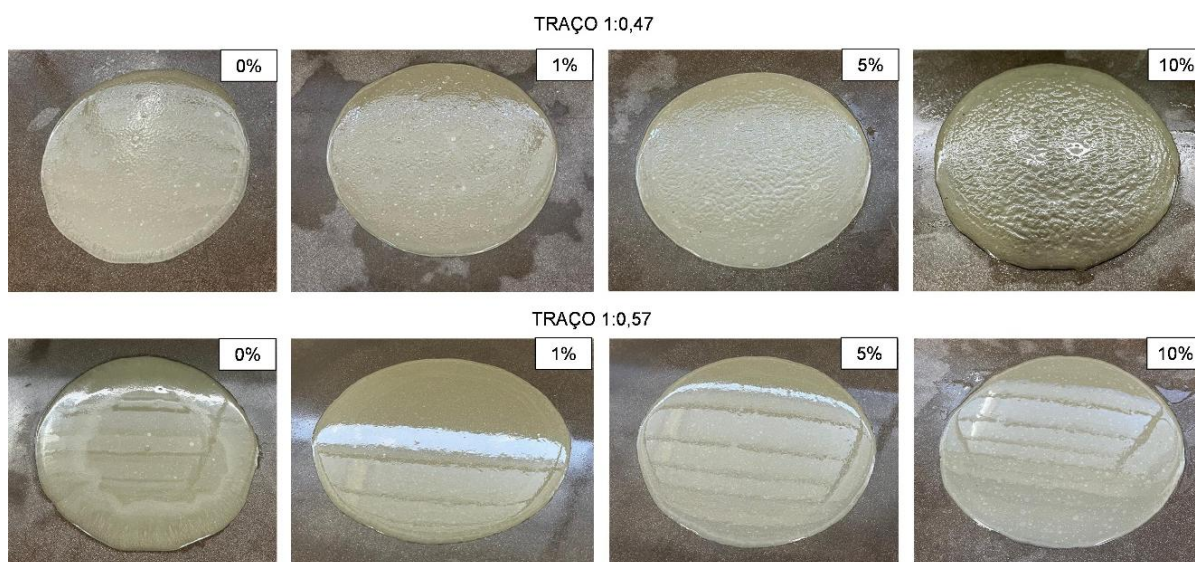
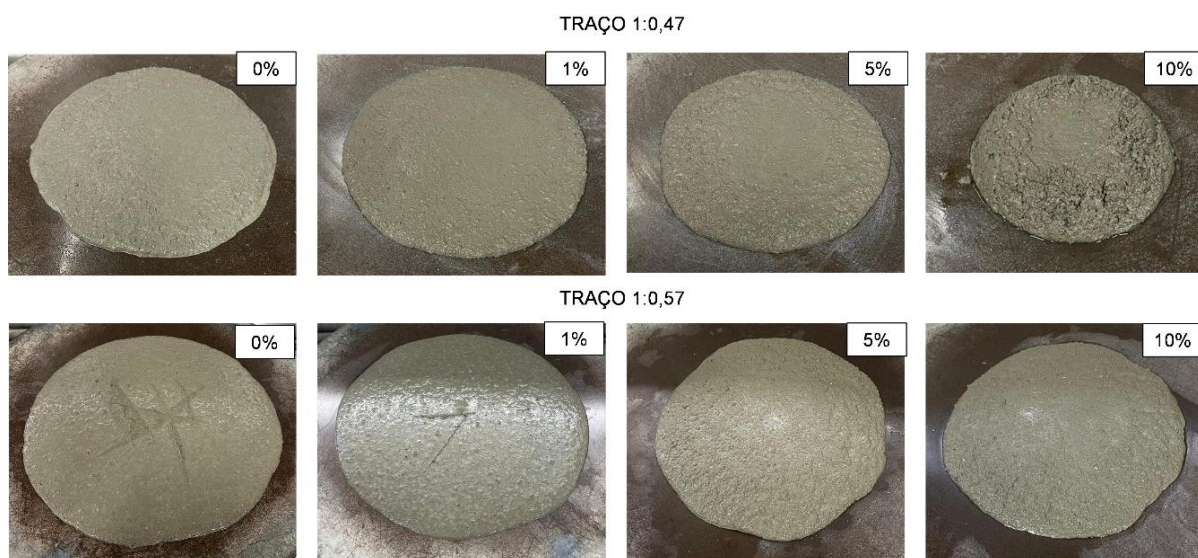


Figura 4: Espalhamento das argamassas com diferentes relações a/c e teores de TEOS



Como observado nos resultados de IC (Figura 2) e nas imagens da Figura 3, nas pastas, o efeito foi mais discreto, indicando que o TEOS contribuiu para uma ligeira redução da fluidez, principalmente no traço com menor relação a/c (0,47), o que era esperado. Com 10% de TEOS, se pode observar visualmente a mudança no aspecto e homogeneidade da pasta, o que não ocorre no traço com maior relação a/c (0,57).

Nas argamassas, a redução do IC foi mais expressiva, principalmente quando 10% de TEOS é adicionado a mistura. Essa diferença pode ser atribuída à maior sensibilidade da argamassa à alteração da fase líquida disponível, em função da presença adicional de agregados.

A redução do IC aliado ao aumento do teor de TEOS pode ser atribuída à reação do silicato de etila com a água da mistura, resultando na formação de produtos como gel de sílica e etanol. Inicialmente ocorre a hidrólise, e neste processo o TEOS consome parte da água disponível na mistura. Esse consumo parcial de água reduz a quantidade de água livre na mistura, aumentando a coesão da mistura e, consequentemente, diminuindo sua capacidade de espalhamento.

Cai *et. al.* (2016) [9] relatam que a introdução de TEOS em sistemas cimentícios pode alterar as propriedades de consistência devido à sua interação com o meio aquoso, o que corrobora com o menor espalhamento obtido das misturas.

Assim, os resultados indicam que a adição de TEOS afeta diretamente o comportamento no estado fresco das pastas e argamassas, tornando-as mais viscosas e com menor capacidade de deformação no estado fresco, com efeito mais pronunciado em composições com menor fator água/cimento.

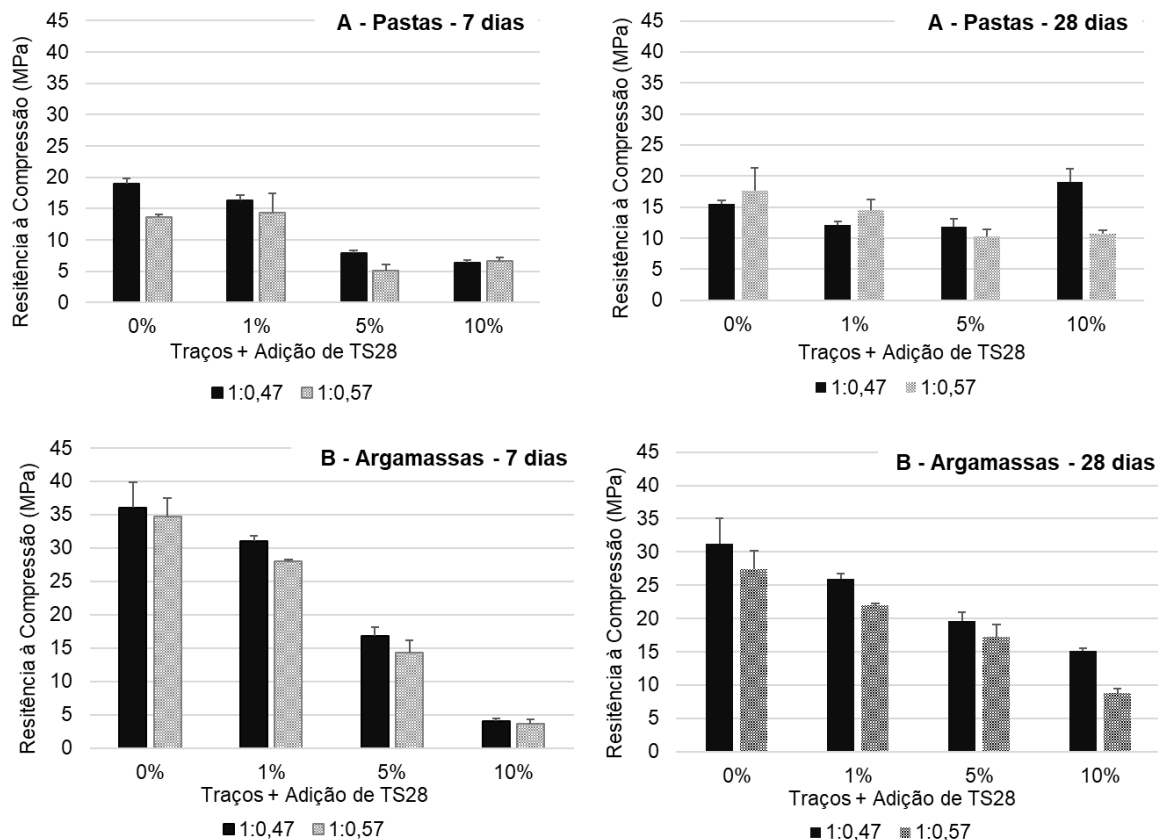
3.2 Resultados da resistência à compressão

A Figura 5 apresenta os resultados de resistência à compressão aos 7 e 28 dias das pastas e argamassas com diferentes teores de TEOS. Para essas idades, observa-se uma tendência de redução da resistência à compressão com o aumento do teor de TEOS, especialmente para 5% e 10% de adição, em ambos os traços.

A redução da resistência à compressão pode ser atribuída, nas primeiras idades, pela reação do TEOS com a água disponível na mistura. Inicialmente, ocorre a hidrólise, formando grupos silanol e etanol; posteriormente, a condensação dos silanóis resulta na precipitação de sílica gel amorfa. Embora o gel preencha parte dos poros, o consumo de água compromete a hidratação inicial do cimento, afetando negativamente a resistência à compressão aos 7 dias. Já aos 28 dias, observa-se um desenvolvimento mais expressivo da resistência à compressão, principalmente no traço com menor relação a/c (0,47). Isso indica que apesar do impacto no estado fresco das pastas e argamassas, o TEOS contribui com formação dos produtos de hidratação ao longo do tempo, principalmente com o C-S-H, como relatam outras pesquisas [10-12].

Diferente do que aconteceu com as pastas, as argamassas com TEOS não apresentaram aumento na resistência à compressão aos 28 dias. Isso pode estar relacionado à presença do agregado miúdo, que torna a mistura mais heterogênea e dificulta a formação contínua dos produtos de hidratação. Além disso, como o agregado também absorve parte da água da mistura, pode ter faltado água suficiente para que o TEOS reagisse totalmente e formasse o gel de sílica. Por isso, o efeito do TEOS na microestrutura das argamassas pode ter sido menor do que nas pastas, o que explica a diferença de comportamento entre os dois materiais.

Figura 5: Resistência à compressão das pastas (A) e das argamassas (B), em MPa



Cai *et. al* (2016) [9] apontam que a adição de TEOS pode retardar a formação dos produtos de hidratação primários, mas contribui para o desenvolvimento de uma microestrutura mais densa a longo do tempo, com melhorias esperadas na resistência mecânica em idades mais avançadas.

Dessa forma, os resultados confirmam que a adição de TEOS influencia significativamente o desempenho mecânico dos materiais cimentícios em idades iniciais, sendo importante ajustar a dosagem e o tempo de cura para a obtenção de melhores desempenhos mecânicos no longo prazo.

Além do desempenho mecânico, estudos anteriores indicam que o uso de TEOS pode contribuir para a durabilidade dos materiais cimentícios, ao reduzir a porosidade, dificultar a entrada de agentes agressivos e formar estruturas mais densas. No entanto, essas vantagens dependem de fatores como tempo de cura, tipo de cimento e condições ambientais. Assim, embora este estudo não tenha abordado diretamente propriedades de durabilidade, os resultados observados apontam caminhos promissores para futuras investigações, como resistência à penetração de íons cloreto, carbonatação e ataque por sulfatos [2,19].

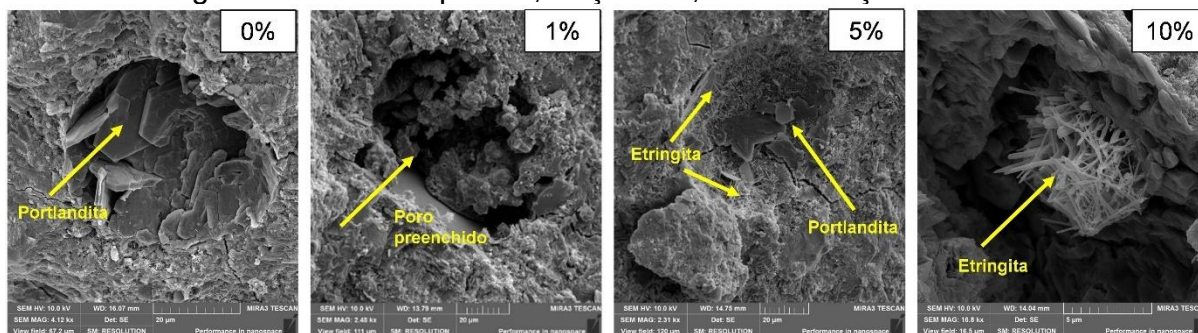
3.3 Resultados da microscopia eletrônica de varredura

A Figura 6 apresenta imagens dos compostos identificados nas pastas de traço 1:0,47, com 0, 1, 5 e 10% de adição de TEOS, respectivamente.

A análise das pastas com fator água/cimento de 0,47 revelou que a adição de TEOS influenciou na formação da microestrutura e, conseqüentemente, a resistência à compressão das amostras. No traço sem adição, observou-se a formação predominante de cristais lamelares de Portlandita, comuns em pastas hidratadas em idades iniciais. Com a introdução de 1% e 5% de TEOS, houve redução da quantidade de Portlandita observada nas micrografias e o desenvolvimento de uma matriz mais porosa e amorfa, possivelmente associada à presença de sílica gel, o que justificaria a redução na resistência à compressão nas primeiras idades (7 dias). Por outro lado, a adição de 10% de TEOS resultou na precipitação secundária de etringita, que, ao preencherem os poros da matriz, promoveram um aumento expressivo da resistência à compressão inicial.

Esses resultados indicam que, para o traço 1:0,47, a alta dosagem de TEOS favoreceu a formação de produtos hidratados que contribuíram para uma microestrutura mais compacta e resistente nas pastas.

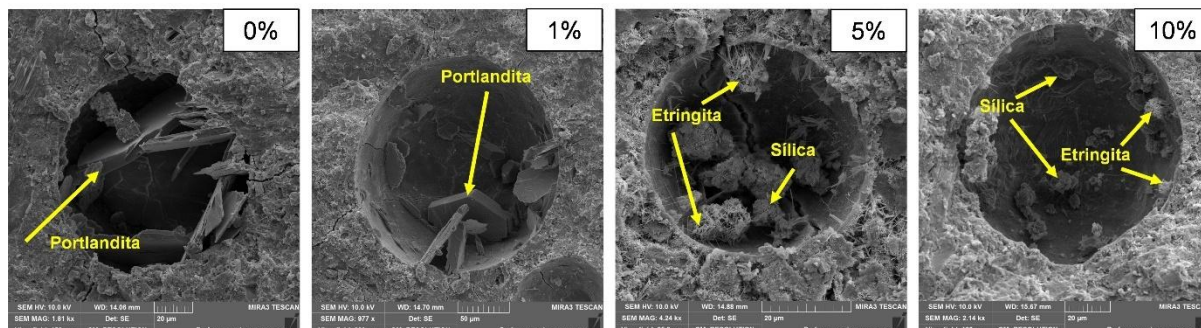
Figura 6: MEV das pastas, traços 1:0,47 com adição de TEOS



A Figura 7 apresenta os exemplos de compostos encontrados nas pastas de traço 1:0,57, com 0, 1, 5 e 10% de adição de TEOS, respectivamente. Para estas pastas é esperado uma maior porosidade da pasta, visto a maior quantidade de água disponível. Os produtos encontrados nos poros das pastas foram semelhantes aos encontrados no traço 1, todavia, em menor quantidade. A influência da adição de TEOS se manifestou de maneira distinta que na pasta com menor relação a/c.

A adição de 1% e 5% de TS28 levou à formação de mais partículas esféricas e aglomerados amorfos, com predomínio de possível sílica gel. Esse fator, associado à relação a/c maior pode ter contribuído para a progressiva redução da resistência à compressão nas pastas. Assim, nos traços 1:0,57, o aumento do teor de TEOS esteve associado à redução gradual da resistência mecânica, principalmente em função da maior porosidade e da menor formação de compostos hidratados estruturantes.

Figura 7: MEV das pastas, traços 1:0,57 com adição de TEOS



4. Conclusão

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da adição de TEOS, em diferentes proporções (1, 5 e 10%), nas propriedades de pastas de cimento e em argamassas de cimento Portland.

Os resultados mostraram que o TEOS reduz a fluidez das misturas no estado fresco, devido à formação de sílica gel e ao consumo de água pela hidrólise. No estado endurecido, observou-se que, para pastas com menor relação a/c (0,47) e maiores teores de TEOS, houve ganhos de resistência à compressão aos 28 dias, associados ao preenchimento de poros e ao aumento da compacidade microestrutural, conforme confirmado pelas análises de MEV.

Conclui-se que o TEOS apresenta potencial para otimizar o desempenho de materiais cimentícios, desde que sua dosagem e a relação a/c sejam criteriosamente ajustadas. Recomenda-se a continuidade dos estudos com foco em propriedades de durabilidade em longo prazo, considerando que os efeitos positivos do TEOS se manifestam de forma progressiva com o tempo de cura.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem UEPG, ao Laboratório de Materiais de Construção Civil e ao Complexo de Laboratórios Multiusuários (C-Labmu); à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e às empresas Itambé e Datiquim pela doação dos produtos utilizados nesta pesquisa.

Referências

- [1] Langaro, E. A. (2023) *Estudo de diagnóstico e inibição da reação álcali-sílica utilizando cinza volante e proteção de superfície com silicatos*. Tese (doutorado), Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba, Brasil.
- [2] Li, T.; Wu, Y. (2022) Effect of Modified Tetraethyl Orthosilicate Surface Treatment Agents on the Permeability of Airport Pavement Concrete. *Coatings*, 12(7), 1027.

- [3] Carrijo, B.R.; Almanso, L.O. (2023) *Estudo dos efeitos da adição de silicato de etila em pasta de cimento e argamassa para mitigação da reação álcali-agregado*. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação), Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG, Ponta Grossa, Brasil.
- [4] Brown, E.W. (2008) Pore reducing technology for concrete. *United States Patent US 2008/0163797 A1*. Depósito: 14 jun. 2006. Concessão: 10 jul. 2008.
- [5] Brown, P.W. (2009) Methods of reducing hydroxyl ions in concrete pore solutions. *United States Patent US 7,608,143 B2*. Depósito: 21 jun. 2005. Concessão: 27 out. 2009.
- [6] Sandrolini, F.; Franzoni, E.; Pigino, B. (2012) *Ethyl silicate for surface treatment of concrete – Part I: Pozzolan effect of ethyl silicate*. *Cement and Concrete Composites*, 34(3), 306–312.
- [7] Cendrowski, K.; Federowicz, K.; Techman, M.; Chougan, M.; Kędzierski, T.; Sanytsky, M.; Mijowska, E.; Sikora, P. (2023) *Enhancing the fresh and early age performances of Portland cement pastes via sol-gel silica coating of metal oxides (Bi_2O_3 and Gd_2O_3)*. *Coatings*, 13(10):1698.
- [8] Barberena-Fernández, A. M.; Blanco-Varela, M. T.; Carmona-Quiroga, P. M. Use of nanosilica- or nanolime-added TEOS to consolidate cementitious materials in heritage structures: Physical and mechanical properties of mortars. *Cement and Concrete Composites*, [S.l.], v. 95, p. 271–276, 2019. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2018.11.011.
- [9] Barberena-Fernández, A. M., Carmona-Quiroga, P. M., & Blanco-Varela, M. T. (2015) *Interaction of TEOS with cementitious materials: Chemical and physical effects*. *Cement and Concrete Composites*, 55, 145–152.
- [10] Machado, I.M.L. (2005) *Avaliação microestrutural de cascas cerâmicas utilizadas na produção de moldes para o processo de fundição por cera perdida*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, p. 119.
- [11] Cai, Y., Hou, P., Duan, C., Zhang, R., Zhou, Z., Cheng, X., & Shah, S. (2016) *The use of tetraethyl orthosilicate silane (TEOS) for surface-treatment of hardened cement-based materials: A comparison study with normal treatment agents*. *Construction and Building Materials*, 117, 144–151.
- [12] Song, M.; Luan, C.; Wang, J.; Yuan, L.; Zhou, Z. (2022) *Mechanical properties of engineering cement-based materials containing modified shape memory alloy fiber* in: 7th International Conference on the Durability of Concrete Structures, NACE International, Jinan: Shandong (China), pp. 1-6.
- [13] NBR 15577 (2018) *Agregados – Reatividade álcali-agregado – Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto*. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.

- [14] Itambé (2025) *Relatórios de ensaio – Cimento CP V-ARI RS*. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/relatorios-de-ensaio/?pro=371>. Acesso em: abr. 2025.
- [15] Datiquim (2019) *Catálogo TS28 e TS40* – Hergrand. Datiquim, Brasil.
- [16] NBR 5738 (2015) Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Versão corrigida: 2016. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- [17] NBR 13276 (2016) Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- [18] NBR 13279 (2005) Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- [19] Guo, Z., Qi, P., Li, W., Wang, K., & Lu, Y. (2018) Surface treatment of concrete with tetraethyl orthosilicate, Na_2SiO_3 and silane: Comparison of their effects on durability. *Ceramics – Silikáty*, 62(4), 332–341.