

## DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSAS ATIVADAS ALCALINAMENTE À BASE DE RESÍDUO DE VIDRO

PALOMA ALVES DA SILVA MIRANDA<sup>1</sup>, JOSÉ AMÉRICO ALVES SALVADOR  
FILHO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduanda em Bacharel em Engenharia Civil, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus Caraguatatuba, paloma.alves@aluno.ifsp.edu.br.

<sup>2</sup> Professor, Dr., IFSP, Câmpus Caraguatatuba, jasalvador@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): Materiais e Componentes da Construção – 3.01.01.01-9

**RESUMO:** A urgência mundial em diminuir a emissão de gás carbônico tornou a busca por alternativas sustentáveis mais recorrente na sociedade, e na Engenharia Civil não foi diferente. Nesta pesquisa dar-se-á ênfase ao estudo de argamassas ativadas alcalinamente, já que são produzidas com resíduos e mecanismos possibilitadores da redução da emissão de gases estufa, retardando o aquecimento global. O resíduo de vidro (VD) a ser estudado é uma matéria prima com grande potencial de uso por possuir alto teor de sílica em sua composição, que associado ao metacaulim (MK), serão os precursores dessa reação. Essa argamassa contará também com o hidróxido de sódio e água como ativadores, e a areia como agregado. Mediante a revisão bibliográfica, tornou-se possível aprofundar o conhecimento quanto às propriedades físicas e mecânicas dos materiais utilizados, bem como a viabilidade de uso de cada um deles. O processo de experimentação permitiu conhecer e entender os inúmeros fatores que afetam a argamassa estudada, desde o tempo necessário para a reação entre o hidróxido de sódio e a água, a proporção de MK e VD, a água acrescentada, a exposição a umidade no processo de cura, e o prazo para desmolde, que por sua vez, permitiram a reformulação da dosagem dos traços inicialmente utilizados, aproximando os resultados do idealizado para a substituição da argamassa convencional.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduo de vidro; metacaulim; sustentabilidade; argamassa; ativação alcalina.

### 1 INTRODUÇÃO

Responsável pela emissão de aproximadamente 7% do CO<sub>2</sub> lançado na atmosfera, o cimento Portland tem chamado atenção na construção civil no que tange a necessidade da sociedade em retardar o aquecimento global, já que, depois da água, o concreto é o material mais utilizado no planeta (Global Cement and Concrete Association, 2023). Visto isso, os países líderes em produção de cimento se reuniram na Polônia para a Conferência da ONU sobre alterações climáticas (COP-24), buscando meios de honrar o Acordo de Paris que visa reduzir as emissões de dióxido de carbono provenientes do cimento em 16% ao ano até 2023 (Rodgers, 2018).

Assim, os materiais alternativos que possuem propriedades cimentantes entram em cena para garantir a produção de argamassa e concreto sustentável, e neste estudo observou-se a viabilidade do resíduo de vidro por possuir alto teor de sílica em sua composição, que associado ao metacaulim, rico em alumínio, serão os precursores dessa reação. Para a obtenção dos aglomerantes ativados alcalinamente (AAA), além destes precursores, a reação conta com a solução alcalina, que será o ativador, o hidróxido de cálcio como aglomerante, e a areia como agregado.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para que esta pesquisa fosse desenvolvida, os materiais utilizados foram: resíduo de vidro moído, metacaulim, hidróxido de cálcio, hidróxido de sódio e água destilada.

FIGURA 1. Materiais a serem utilizados



Fonte: Autor (2023).

FIGURA 2. Metacaulim, resíduo de vidro moído e hidróxido de sódio em lentilhas.



Fonte: Autor (2023).

Os métodos utilizados no seu decorrer foram divididos em: revisão bibliográfica; análise das propriedades físicas e mecânicas dos materiais utilizados; estudo da dosagem da solução alcalina e dos aglomerantes; definição do traço da argamassa e avaliação de sua consistência no estado fresco; e a avaliação da resistência a compressão e à tração.

A princípio utilizou-se de trabalhos já consolidados para obter um ponto de partida para o experimento, compreendendo a necessidade do metacaulim como um precursor complementar devido a sua composição rica em alumínio (Muduli e Mukharjee, 2019), já que o resíduo de vidro é fonte de sílica (Rosa, Cosenza e Barrozo, 2007), para que ao reagirem com a solução ativadora (catalisadora), haja a dissolução do aluminossilicato.

### **Determinação da molalidade:**

Fez-se necessária a determinação da molalidade, para tal preparou-se seis amostras diferentes a fim de escolher o melhor traço para a produção da argamassa, utilizando dosagens já testadas anteriormente (Villarrazo, 2023).

TABELA 1. Traços utilizados para determinação da melhor molalidade em estudo de pastas.

Nº	Aglomerante (g)			Solução	
	MK	WGP	H <sub>2</sub> O	NaOH (g)	Molalidade (mol/kg)
1	15	5	10	2,0	5,0
2	15	5	10	2,6	6,5
3	15	5	10	3,2	8,0
4	15	5	10	3,8	9,5
5	15	5	10	4,4	11,0
6	15	5	10	5,0	12,5

Obs: Para todas as amostras foi utilizado o A/C = 0,5

FIGURA 3. NaOH + H<sub>2</sub>O reagindo e materiais restantes para produção das pastas.



Fonte: Autor (2023).

Realizada a preparação do hidróxido de sódio com água destilada, esperou-se 24 horas para acrescentar o restante dos materiais, aguardando 7 dias para a análise visual e tátil dos discos resultantes.

#### Produção da argamassa:

Conhecida a molalidade ideal, iniciou-se a preparação dos traços de argamassa com a seguinte dosagem:

TABELA 2. Dosagem inicial de corpos de prova com vidro moído.

Traço	VD	MK	CaOH	NaOH	Areia	H <sub>2</sub> O
V00			0,000			
V05	642,883	642,883	64,288	321,442	2571,532	642,883
V10			128,577			

Quantidade de material em gramas (g).

Em cada traço preparado esperou-se mais de 24 horas para a reação do hidróxido de sódio com água para posterior mistura com os materiais restantes, seguidos do acréscimo de 160,00g de água para que a argamassa atingisse o ponto ideal de moldagem. 3 corpos de prova (CP) prismáticos de 40x40x100 mm e 4 cilíndricos foram moldados para cada traço, que foram vedados e submetidos a cura em câmara úmida à temperatura ambiente por 28 dias.

FIGURA 4. Corpos de prova imediatamente após a moldagem.



Fonte: Autor (2023).

Findados os dias de cura e desmolde dos 3 primeiros traços, verificou-se uma sequência de imperfeições nos corpos de prova que os inviabilizava para testes oficiais, o que resultou em uma nova dosagem avaliando a efetividade da redução da quantidade de resíduo de vidro moído e acréscimo de metacaulim.

TABELA 2. Dosagem final de corpos de prova com vidro moído.

Traço	VD	MK	CaOH	NaOH	Areia	H2O
V00			0,000			
V05	322,794	968,383	64,559	322,794	2582,354	645,589
V10			129,118			

Quantidade de material em gramas (g).

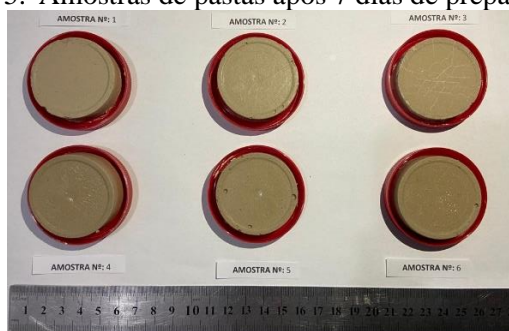
Para estes novos traços viu-se a necessidade de diminuir o tempo de espera para a reação do hidróxido de sódio com a água destilada, e acrescentar apenas 120,00g de água para que a argamassa atingisse o ponto ideal de moldagem. Após moldados os 3 corpos de prova prismáticos de 40x40x100 mm e 4 cilíndricos para cada traço, foram vedados e submetidos a cura fora da câmara úmida em temperatura ambiente por 28 dias.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Determinação da molalidade:

Após os 7 dias de cura, as amostras foram desmoldadas para análise, possibilitando observar pequenas rachaduras nas amostras 1, 2 e 3, e uma pequena quantidade de umidade nas amostras 4, 5 e 6. Nenhuma delas se rompeu durante o processo, e a mais viável foi a amostra número 6, de molalidade 12,5 mol/kg, que será utilizada no traço da argamassa experimental.

FIGURA 5. Amostras de pastas após 7 dias de preparo.



Fonte: Autor (2023).

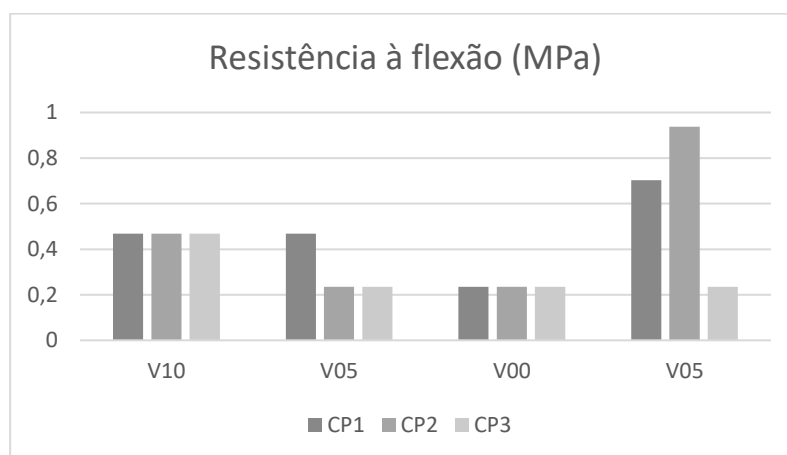
### Produção e testagem da argamassa:

Os traços V00, V05 e V10 iniciais que continham quantidades iguais de resíduo de vidro e metacaulim (1:1) resultaram em corpos de prova inviáveis para uso oficial devido a esfarelamento e perda de partes de suas extremidades, conforme mostra a figura 6, mas foram submetidos aos ensaios de tração na flexão, conforme NBR 13279:2005, para obtenção de dados e um parâmetro de comparação autoral.

FIGURA 6. Corpo de prova inviabilizado.



Fonte: Autor (2023).



Analisados os fatores de interferência, como tempo de reação, exposição a umidade e dosagens, foram corrigidos e melhorados possibilitando a moldagem de novos CPs, viabilizando a realização de todas as etapas de validação da argamassa prescritas pela Norma Brasileira.

FIGURA 7. Corpos de prova dosagem final



Fonte: Autor (2023).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Visto o esperado por esta pesquisa, e os resultados preliminares já obtidos e calculados, seguidos das novas adequações e corpos de prova resultantes, pode-se inferir que a busca por materiais substitutivos ao cimento Portland está avançando e obtendo valores satisfatórios, tanto quanto à sustentabilidade, mas também economicamente. É necessário ressaltar a importância das normas técnicas para padronização e validação dos experimentos para que as pesquisas possam avançar e consolidar a substituição sustentável de materiais com elevada emissão de gases estufa.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Materiais de pedra e agregados naturais. NBR 7225/1993. Rio de Janeiro: 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR. 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos–Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Bras. Norm. Técn., Rio Janeiro, 2005.

BATISTA, João Pedro Bittencourt. Estudo da cinza de folha de cana-de-açúcar em aglomerantes ativadas alcalinamente baseado no resíduo de cerâmica vermelha. 2018. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2018.

COP 27: concreto e cimento de baixo carbono ganham mais apoio. Disponível em: <<https://habitability.com.br/cop-27-concreto-e-cimento-de-baixo-carbono-ganham-mais-apoio/>>. Acesso em: 10 maio. 2023.

Home : Disponível em: <<https://gccassociation.org/>>. Acesso em: 10 maio. 2023.

OVIS, J. L.; PALOMO, A.; SHI, C. Advances in understanding álcali-activated materials. Cement and Concrete Research, v. 78, p. 110–125, 2015.

RODGERS, L. Climate change: The massive CO2 emitter you may not know about. BBC, 17 dez. 2018.

ROSA, Sérgio Eduardo Silveira da; COSENZA, José Paulo; BARROSO, Deise Vilela. Considerações sobre a indústria do vidro no Brasil. BNDES Setorial, n. 26, p.[101]-137, set. 2007., 2007

VILLARRAZO, Vitor. Desenvolvimento de argamassas ativadas alcalinamente utilizando resíduos de vidro. Caraguatatuba, 2022. 39 f. TCC (Graduação em Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Câmpus Caraguatatuba, 2022. Disponível em: <https://drive.ifsp.edu.br/s/xZVBtvSdCQzhGC0>. Acesso em: 15 mar. -2023.

WALSH, N. P. Qual o custo ambiental da produção de cimento e o que podemos fazer sobre isso? Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/909303/qual-o-custo-ambiental-da-producao-de-cimento-e-o-que-podemos-fazer-sobre-isso>>. Acesso em: 10 out. 2023.