

Variabilidade na composição química do filer calcário: uma análise exploratória de estudos globais

Baldoino Sonildo da Nóbrega (IFPB, Campus Campina Grande), Robson Arruda dos Santos (IFPB, Campus Cajazeiras), Iago Caleb A. Silva (IFPB, Campus Campina Grande), Kalley C. S. da Rocha (IFPB, Campus Campina Grande), Emanuel C. do Nascimento (IFPB, Campus Campina Grande), Isyanne T. S. Sobral (IFPB, Campus Campina Grande)

E-mails: baldoino.nobrega@ifpb.edu.br, robson.santos@ifpb.edu.br, caleb.avelino@academico.ifpb.edu.br, kalley.cavalcante@academico.ifpb.edu.br, emanuel.cunha@academico.ifpb.edu.br, isyanne.tavares@academico.ifpb.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.01.01.01-8 Materiais e Componentes de Construção

Palavras-chave: Calcário; variabilidade; concreto; sustentabilidade.

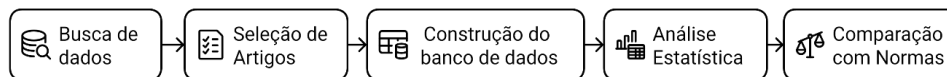
1. Introdução

O futuro tem exigido a busca por práticas mais sustentáveis na construção civil e isso tem influenciado o uso eficiente de recursos naturais. Desse modo, a utilização de filer calcário com diferentes características no concreto – incluindo baixos teores de carbonato de cálcio (CaCO_3) ou concentrações de outros compostos acima dos limites permitidos pelas normas – tem sido considerada como alternativa para otimizar o aproveitamento desse material e reduzir o consumo de cimento. Contudo, os estudos buscam preservar os níveis de segurança e controle necessários para garantir a resistência e a durabilidade das estruturas. Nesse contexto, buscou-se descrever como se apresenta a variabilidade desse tipo de filer, utilizado em estudos sobre concreto e argamassa como substituição parcial do cimento. Foram analisados dados sobre a composição química do filer calcário incorporado ao concreto/argamassa em diferentes regiões do mundo, identificando padrões globais e desvios em variáveis-chave, como CaCO_3 , CaO , MgO e SiO_2 , além de confrontar os dados com normas nacionais e internacionais.

2. Materiais e métodos

Para atingir os objetivos, foi conduzida uma busca por dados sobre a composição química do filer calcário, publicados em estudos científicos que tinham como foco analisar sua utilização como substituto parcial do cimento. Diversas bases de dados científicas foram consultadas (*Scopus*, *Web of Science*, *Google Scholar*). Foram selecionados artigos entre os anos 2000 e 2024, com os seguintes critérios de inclusão: conter as informações sobre as composições químicas do filer calcário; apresentar aplicação em concreto ou argamassa; ter sido revisado por pares; ter sido publicado em periódico científico; e incluir, no corpo do texto, a região de onde foi extraído o calcário (figura 1). Na falta da informação da origem do calcário, foi inferida a localidade do autor correspondente (considerando-se essa uma limitação do estudo). Após a filtragem, 87 artigos foram selecionados, totalizando 100 amostra de composição química do filer calcário. A quantidade de amostras é superior ao número de artigos, pois alguns estudos avaliaram mais de um tipo de filer. A figura 2 mostra que a base de dados organizada reuniu estudos de múltiplos continentes, refletindo realidades geológicas e industriais distintas, isso garantiu uma visão global da composição química do filer calcário.

Figura 1 - Processo de construção e análise do conjunto de dados



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

Figura 2: Diversidade de países com artigos avaliados que constam na base de dados



Fonte: Dados da pesquisa, 2025

Posteriormente, foram aplicadas técnicas de estatística descritiva (médias, desvios padrão, valores mínimos e máximos, identificação de outliers) para analisar a variabilidade dos componentes químicos entre diferentes regiões geográficas. Os resultados obtidos para os teores de CaCO_3 , CaO , MgO e SiO_2 , foram comparados com os limites e recomendações de normas técnicas relevantes, como a NBR 16697:2018 (Brasil), EN 197-1:2018 (União Europeia) e a ASTM C1797:2023 (Estados Unidos), quando aplicável.

3. Resultados e discussão

A análise dos dados da composição química revelou uma lacuna significativa na disponibilidade de informações sobre o teor de carbonato de cálcio (CaCO_3). Dos mais de 80 artigos avaliados entre os anos de 2000 e 2024, apenas uma pequena parcela mostraram os valores quantitativos para esse composto (tabela 1). Apesar da quantidade limitada de dados disponíveis sobre o CaCO_3 , verificou-se uma média de 94,7% e desvio padrão de 8,09% em massa. Essa variabilidade indica que, embora a maioria do filer calcário apresente alto teor de CaCO_3 , há registros de valores bem abaixo da média, indicando uma assimetria nos dados (figura 4). Ao observar a amplitude dos resultados, o menor valor

encontrado (74,1%), foi reportado por Palm et al. (2016) para uma amostra da Alemanha, o que sugere a presença de outras fases minerais. Em contraste, o maior valor (99,3%), observado por Nikbin et al. (2014) em um estudo realizado no Irã, indica uma alta pureza do calcário utilizado. Essa amplitude (25,2%) pode estar relacionada a diferentes formações geológicas, bem como aos processos de extração e beneficiamento do filer em cada região.

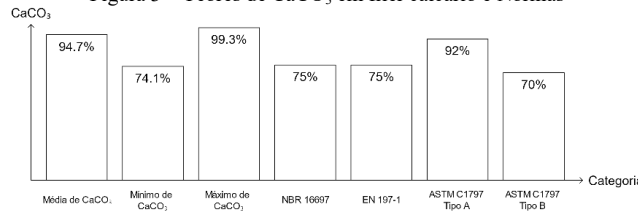
As normas analisadas, NBR 16697:2018 (Brasil) e a EN 197-1:2018 (União Europeia), estabelecem um teor mínimo de 75% de CaCO₃ em massa para que o material carbonático seja considerado adequado para adição ao cimento. A norma americana ASTM C1797:2023, por sua vez, adota uma abordagem diferente, classificando os materiais em duas categorias principais: Carbonato de Cálcio Moído (GCC) e Cargas Minerais Agregadas (AMF). O GCC, derivado de depósitos naturais de calcário, é definido como um material finamente dividido. A norma, então, subdivide o GCC em dois tipos, com base no teor mínimo de CaCO₃. Tipo A - exige um teor mínimo de 92% de CaCO₃ em massa e é destinado a aplicações diversas, incluindo concretos de alto desempenho, onde a alta pureza do calcário é crucial para otimizar as propriedades do concreto. Tipo B - requer um teor mínimo de 70% de CaCO₃ em massa e é utilizado em aplicações menos exigentes, como concretos de pavimentação, onde a pureza do calcário pode ser menos crítica (ASTM C1797, 2023). Observa-se que a maioria dos estudos avaliados cumprem os requisitos das normas (figura 3).

Tabela 1: Estatística descritiva dos teores de CaCO₃, CaO, MgO e SiO₂

	CaCO ₃	CaO	MgO	SiO ₂
N	16	90	90	93
Média	94,7	54,9	1,87	3,85
Mediana	97,9	52,9	0,775	1,57
Desvio-padrão	8,09	13,4	3,37	4,69
Mínimo	74,1	28,9	0,01	0,01
Máximo	99,3	99	19,3	17,9

Diferentemente da quantidade limitada de informações sobre o CaCO₃, os dados referentes ao óxido de cálcio (CaO) são bem mais frequentes nos estudos avaliados. Esse componente é um dos principais presentes no filer calcário utilizado como substituição parcial do cimento no concreto, desempenhando funções essenciais na formação de minerais do cimento e no comportamento do concreto (Neville, 2013). A análise dos artigos científicos que reportam a composição química do filer calcário revelou que o teor médio de CaO é de 54,9% com um desvio padrão de 13,4%, indicando alta variabilidade entre os dados analisados (tabela 1). Essa variação reflete diferenças na composição mineralógica do calcário utilizado na produção do filer, que pode ser influenciada por fatores regionais, como as condições geológicas e as características dos depósitos de origem. A amplitude dos resultados é evidenciada pelos valores extremos observados: um teor mínimo de 28,9% foi identificado em uma amostra brasileira (Feltrin; Isaia, 2018), enquanto um máximo de 99% foi encontrado em amostra de Portugal (Matos et al., 2016). Os demais países apresentam, em sua maioria, valores próximos da média global observada nesta base de dados.

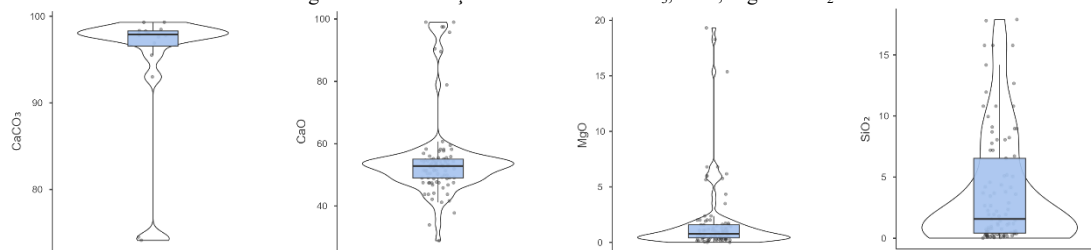
Figura 3 – Teores de CaCO₃ em filer calcário e Normas



Fonte: Dados da pesquisa, 2025

A amostra brasileira com o menor teor de CaO (28,9%) destacou-se como um possível outlier devido à sua composição diferenciada. A análise revelou, para essa amostra, um teor elevado de óxido de magnésio (MgO), da ordem de 18,28%, característico de um material com presença de dolomita. O trabalho de Feltrin e Isaia (2018) explora a possibilidade da utilização de filer calcário dolomítico na substituição parcial do cimento, identificando boa resistência à compressão para esse tipo de adição. Outros trabalhos que utilizaram filer calcário com altos teores de MgO também foram identificados nesta análise. Uma amostra da Índia, reportada por Tamma et al. 2024 (15,37%) e outra da Argélia reportada por Ghomari, Boukli, Taleb (2011) (19,32%). Além disso, foram identificados estudos com amostras contendo teores de óxido de magnésio variando entre 5% e 7% (figura 4).

Figura 4 - Distribuição dos teores de CaCO₃, CaO, MgO e SiO₂



Fonte: Dados da Pesquisa, 2025

Esses resultados indicam que há uma busca pela utilização de calcário dolomítico em teste para adição ao concreto. É importante ressaltar que regiões com jazidas de calcário com elevados teores de MgO (>5%) exigem maior cuidado em aplicações no cimento e concreto, já que existe um potencial de expansão indesejada devido a formação de brucita, o que representa um aspecto crítico em projetos com exigência de alta durabilidade (EN 197-1, 2018, Petrucci, 1998). A norma EN 197-1:2018 estabelece que os teores de MgO no clínquer não devem exceder 5% em massa. Ao avaliar todos os estudos, observa-se uma frequência de amostras com diferentes concentrações de MgO, com predominância de valores baixos (entre 0% e 2,5), mas com algumas amostras apresentando altas concentrações desse componente (figura 4). Esses resultados mostram que pesquisadores estão ampliando os teste com filer calcário com diferentes composições, inclusive fora das restrições indicadas nas normas técnicas.

Os teores de SiO₂ nas amostras de filer calcário apresentam elevada variabilidade, com valores entre 0,01% (Rossetti et al., 2021, Argentina) a 17,9% (Palm et al., 2016, Alemanha) (tabela 1; figura 4). A amostra de maior teor de SiO₂ corresponde àquela previamente identificada com o menor teor de CaCO₃, sugerindo uma possível correlação inversa entre esses dois componentes químicos. Dentre as amostras analisadas, destacam-se também estudos da Itália (15,78%), Brasil (14,18%) e Tailândia (8,97%) que possuem filer com alto teor de silicatos. Esses teores elevados podem impactar negativamente o desempenho do concreto, principalmente devido à reatividade química associada ao SiO₂. Por outro lado, observa-se uma expressiva frequência de amostras com baixos teores de SiO₂ (inferior a 2%), o que indica a predominância de filer calcário de elevada pureza, mais adequado para aplicações em concretos e que tendem a apresentar comportamento próximo ao de um material inerte (figura 4). No entanto, a distribuição dos dados é assimétrica positiva, com a presença de amostras de alto teor de SiO₂ (superiores a 12,5%) que refletem elevada concentração de silicatos. Essa análise permite identificar três grupos principais de amostras: Baixo (< 5%), com predominância de amostras puras e pouco reativas; Médio (5% a 12,5%), representando filer com moderada presença de silicatos e Alto (> 12,5%), com concentrações significativas de silicatos, que requerem atenção quanto à sua aplicação no concreto.

5. Considerações finais

Um extenso banco de dados, consolidado a partir de publicações científicas, foi avaliado utilizando técnicas estatísticas para comparar composições e verificar conformidade com normas nacionais e internacionais. Os resultados destacaram elevados teores de CaCO₃ (>95%) em algumas regiões, indicando alta pureza, enquanto outras apresentaram concentrações significativas de MgO e SiO₂, geralmente associadas à presença de dolomita e silicatos. Os resultados reforçam a necessidade de uma caracterização química detalhada do filer calcário antes de sua utilização no concreto, permitindo a seleção de materiais adequados para cada aplicação e contribuindo para a produção de concretos mais duráveis e eficientes. Sugere-se, para trabalhos futuros, a investigação da correlação entre essas variações químicas específicas e as propriedades físico-mecânicas e de durabilidade do concreto.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro do IFPB, que viabilizou a realização deste trabalho.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.
- ASTM INTERNATIONAL. **ASTM C1797**: Standard Specification for Ground Calcium Carbonate and Aggregate Mineral Fillers for use in Hydraulic Cement Concrete. 2023
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 197-1**: Cement – Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements. Brussels, 2018.
- FELTRIN, C. S.; ISAIA, G. C. Propriedades do concreto com adição de filer calcário dolomítico. **Revista de Ciência e Inovação**, v. 3, n. 1, p. 58-71, 2018.
- GHOMARI, F.; BOUKLI H, S. M. A.; TALEB, O. Study of Limestone Addition on the Mechanical and Rheological Characteristics in the SCC. **Jordan Journal of Civil Engineering**, v. 5, n. 3, p. 412-423, 2011.
- MATOS, A. M., RAMOS, T., NUNES, S., SOUSA-C, J. Durability enhancement of SCC with waste glass powder. **Materials Research**, v. 19, n. 1, p. 67-74, 2016.
- NEVILLE, Adam M. **Tecnologia do concreto**. Bookman Editora, 2013.
- NIKBIN, I. M., BEYGI, M. H. A., KAZEMI, M. T., AMIRI, J. V., RABBANIFAR, S., RAHMANI, E., RAHIMI, S. A comprehensive investigation into the effect of water to cement ratio and powder content on mechanical properties of self-compacting concrete. **Construction and Building Materials**, v. 57, p. 69-80, 2014.
- PALM, S., PROSKE, T., REZVANI, M., HAINER, S., MÜLLER, C., GRAUBNER, C. A. Cements with a high limestone content–Mechanical properties, durability and ecological characteristics of the concrete. **Construction and building materials**, v. 119, p. 308-318, 2016.
- PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 13ª Ed., rev. Por Paulon, V. A. Editora Globo, São Paulo – P, 1998
- ROSSETTI, A., IKUMI, T., SEGURA, I., IRASSAR, E. F. Sulfate performance of blended cements (limestone and

illite calcined clay) exposed to aggressive environment after casting. **Cement and Concrete Research**, v. 147, p. 106495, 2021.

TAMMA, V. R., PANCHARATHI, R. K., BIBEKANANDA, M., & PALLAPOTHU, S. N. R. G. Strength and microstructure characteristics of low-grade (LG) limestone-based cements for a sustainable concrete. **Environment, Development and Sustainability**, v. 26, n. 9, p. 22907-22927, 2024.