

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DOS RESÍDUOS MAIS ESTUDADOS PARA APLICAÇÃO EM MATRIZES CIMENTÍCIAS NO BRASIL

Bibliometric Analysis of the most studied residues for incorporation in cement-based composites in Brazil

Carolina de Melo Nunes Lopes
Universidade Federal de Ouro Preto | Ouro Preto, Minas Gerais | carolina.nunes@aluno.ufop.edu.br

Danielle Rios Garcia
Universidade Federal de Ouro Preto | Ouro Preto, Minas Gerais | danielle.garcia@aluno.ufop.edu.br

Vítor Freitas Mendes
Universidade Federal de Ouro Preto | Ouro Preto, Minas Gerais | vitor.mendes@aluno.ufop.edu.br

Aldo Ribeiro de Carvalho
Universidade Federal de Ouro Preto | Ouro Preto, Minas Gerais | aldo.carvalho@aluno.ufop.edu.br

Júlia Castro Mendes
Universidade Federal de Juiz de Fora | Juiz de Fora, Minas Gerais | juliacastro.mendes@ufjf.br

Resumo

Este estudo investigou os resíduos mais estudados por pesquisadores brasileiros com potencial de incorporação em matrizes cimentícias, a fim de identificar tendências e lacunas na pesquisa nessa área. Os resíduos mais citados nas publicações científicas de instituições brasileiras entre 2001 e 2022 foram identificados por meio de uma análise bibliométrica na base de dados Scopus. Os resultados indicaram que os resíduos mais citados foram os resíduos de construção e demolição, as cinzas da casca de arroz, os resíduos de vidro, a borracha de pneu e o bagaço de cana-de-açúcar. Houve um crescimento significativo no número de publicações nessa área, especialmente a partir de 2018. Essas descobertas são importantes para orientar pesquisas futuras e políticas públicas, bem como para impulsionar investimentos e a logística de reaproveitamento desses resíduos. Assim, este estudo contribui para o desenvolvimento sustentável, social e econômico da construção civil, e, consequentemente, do país.

Palavras-chave: Matrizes cimentícias; Análise bibliométrica; Construção civil; Resíduos.

ABSTRACT

This study investigated the residues most frequently studied by Brazilian researchers when incorporated in cement-based composites in order to identify trends and research gaps in this field. The most cited residues in scientific publications from Brazilian institutions between 2001 and 2022 were identified through a bibliometric analysis using the Scopus database. The results showed that the most cited residues were construction and demolition waste, rice husk ashes, glass waste, tire rubber waste, and sugarcane bagasse. There was a significant growth in the number of publications in this field, particularly from 2018 onwards. These findings are important in guiding future research and public policies, as well as driving investments and logistics for reusing these residues. Thus, this study contributes to the sustainable, social, and economic development of the construction industry and, consequently, the country.

Keywords: Cement-based composites; Bibliometric analysis; Civil construction; Residues.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é destaque mundial nos setores de mineração, siderurgia, papel e celulose, calçados e agropecuária. Essas indústrias geram um grande volume de resíduos e causam impactos ao meio ambiente e à sociedade. A indústria da construção civil também é responsável pela geração de grandes quantidades de resíduos (CARVALHO *et al*., 2023). Além disso, esse setor é responsável pela extração de volumes significativos de recursos naturais e emissões de gases do efeito estufa (AKHTAR e SARMAH, 2018; UNEP, 2021).

Em relação ao cimento Portland, um dos principais materiais utilizados pela construção civil, estima-se que sua produção seja responsável por cerca de 7% das emissões antropogênicas de dióxido de carbono mundiais (PANESAR, KANRAJ e ABUALROUS, 2019). Nesse sentido, A utilização de resíduos em matrizes cimentícias contribui para redução do impacto gerado pelo descarte dos resíduos, reduz as emissões de gases de efeito estufa e contribui para a preservação dos recursos naturais (PANESAR, KANRAJ e ABUALROUS, 2019).

Em meio a esse cenário, se observa, no Brasil, relevantes produções científicas a respeito do reaproveitamento de resíduos em matrizes cimentícias. Contudo, ainda há pouca aplicação prática desses estudos. Diante disso, este trabalho realizou uma análise bibliométrica da literatura a respeito da incorporação de resíduos em matrizes cimentícias no Brasil, a fim de contribuir para o entendimento das tendências de publicações e para a identificação de lacunas de conhecimento. Nós identificamos os 20 resíduos mais estudados no Brasil que podem ser incorporados em matrizes cimentícias, bem como o número de publicações por ano e as principais fontes de publicação dessas pesquisas.

2 METODOLOGIA

Para a análise bibliométrica foram utilizados dados coletados plataforma Scopus. O conjunto de termos utilizado na busca foi: *"((residue OR waste OR tailings) AND (cement OR concrete OR mortar) AND NOT (geopolymer OR asphalt OR alkali-activated))"*. A busca foi realizada em inglês uma vez que a grande maioria das revistas indexadas na plataforma Scopus é de língua inglesa. A pesquisa limitou-se aos resíduos utilizados apenas na fabricação de matrizes cimentícias, excluindo geopolímeros, matrizes álcali-ativadas e matrizes asfálticas. Não houve limitações quanto à forma de utilização.

A busca por essas palavras-chave foi realizada por meio da funcionalidade "título/resumo/palavra-chave" da base Scopus em 12/12/2021. Algumas restrições adotadas foram:
- A busca foi realizada a partir do "ano de publicação" 2001;
- Foram incluídos artigos de 2022 que já estavam disponíveis na data da pesquisa;
- O campo "país/território" foi limitado ao Brasil;
- No "tipo de documento", foram selecionados artigos, capítulos de livros e artigos de congressos. Artigos de revisão não foram considerados;
- Não houve limitação quanto à "fonte da publicação" (periódico de origem);
- Artigos de áreas não-afins, como odontologia, por exemplo, foram excluídos.

Os estudos resultantes desta pesquisa bibliométrica limitam-se aos termos buscados e aos critérios adotados – não foi levado em consideração o mérito científico ou as métricas de citações dos artigos selecionados. No total, 1.270 estudos atenderam a todas as restrições. Os dados bibliométricos foram baixados no formato "*Comma-Separated-Values* (.csv)" e importados para o *software* VOSviewer (versão 1.6.15). Após a exportação dos dados para o *software*, diferentes redes foram criadas e analisadas.

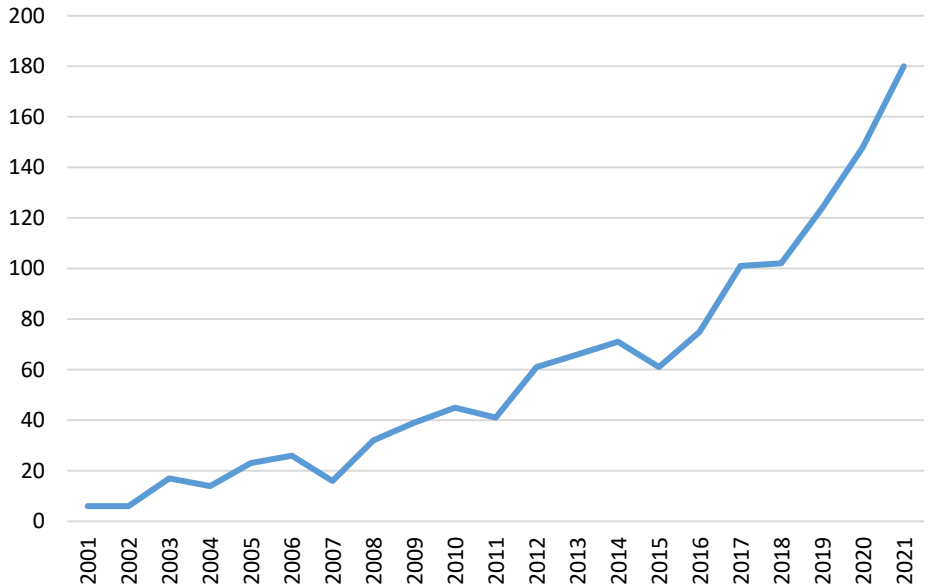
Os resíduos mais estudados foram identificados pela análise individual das palavras-chaves que mais emergiram nos trabalhos considerados. Termos semelhantes foram agrupados e termos que não permitiam a identificação clara do resíduo, como "resíduos", "rejeitos", "cinzas", e "resíduos sólidos industriais", foram desconsiderados. Com isso, foram identificados os 20 resíduos mais estudados por pesquisadores brasileiros nos últimos anos com potencial de aplicação em matrizes cimentícias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 NÚMERO DE PUBLICAÇÕES POR ANO

A Figura 1 ilustra o gráfico de número de publicações a respeito da incorporação de resíduos em matrizes cimentícias de 2001 a 2021. O ano de 2022 não foi incluído neste gráfico, pois na data da pesquisa (12/12/2021), apenas 16 artigos com data de 2022 haviam sido publicados.

Figura 1: Número de publicações por ano



Fonte: Autores (2023)

É possível observar um crescimento no número de publicações por ano, principalmente de 2011 a 2021. Essa mesma tendência foi observada por Ahmad *et al*. (2021), que realizaram uma pesquisa bibliométrica a respeito da incorporação de resíduos em concreto nas últimas duas décadas. O crescimento contínuo observado entre os anos de 2011 e 2014 pode ter sido impulsionado pela promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em 2010 no Brasil.

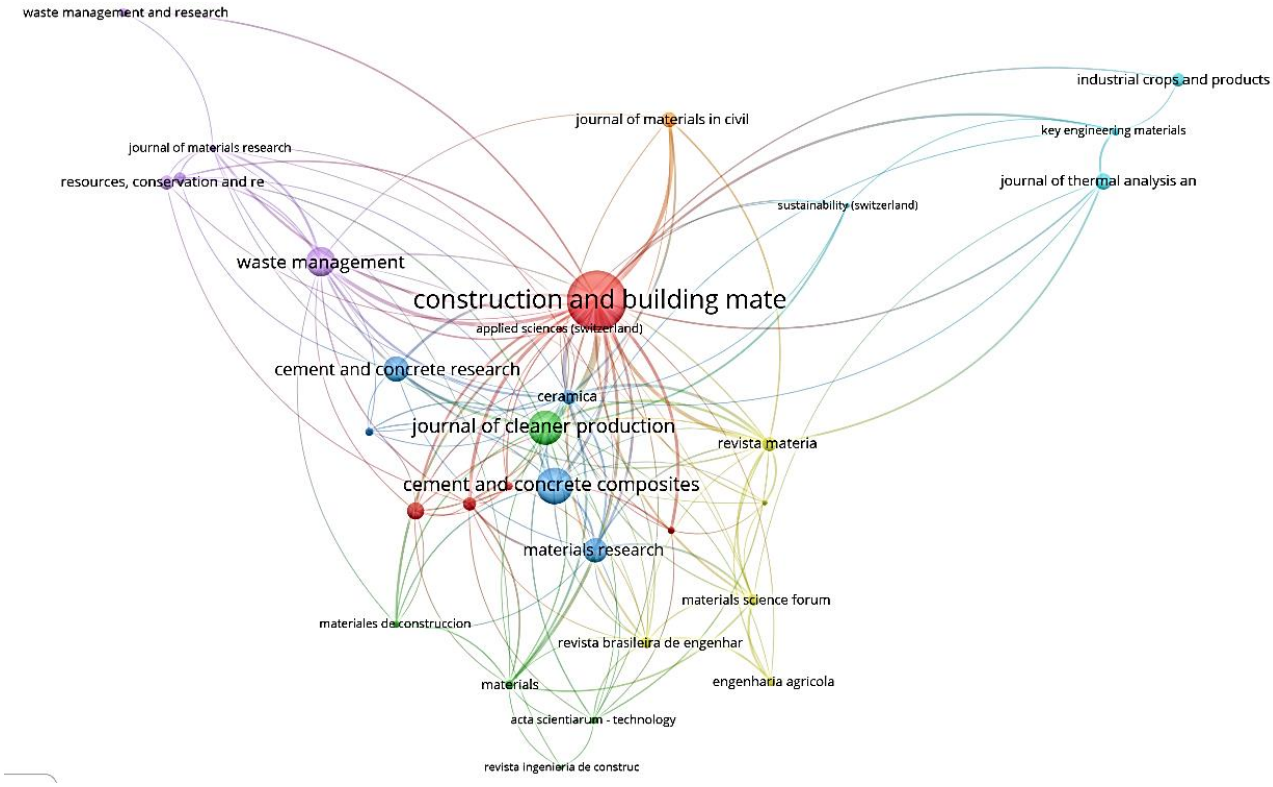
A partir de 2017, o número de publicações anuais ultrapassou a marca de 100 artigos. De 2018 em diante, observa-se um crescimento exponencial no número de publicações, evidenciando o crescimento da importância do tema. Esse crescimento pode estar relacionado ao Acordo de Paris (UNEP, 2021), que entrou em vigor em 2016 e tem como principal objetivo manter o aumento da temperatura média global inferior a 2ºC.

3.2 PRINCIPAIS FONTES DE PUBLICAÇÃO

A identificação dos periódicos que publicaram artigos a respeito da incorporação de resíduos em matrizes cimentícias fornece informações importantes a respeito das tendências de pesquisa nessa área, uma vez que os periódicos publicam artigos dentro de um escopo predefinido. Para essa análise, foi utilizada a função "criar um mapa com base em dados bibliográficos" no VOSviewer. O tipo de análise escolhida foi "citação" e a unidade da análise foi "fonte". O resultado foi limitado a periódicos que publicaram pelo menos cinco artigos e alcançaram pelo menos 20 citações. A Figura 2 mostra a rede de periódicos científicos mais citados dentre os trabalhos analisados.

Nas redes bibliométricas, o tamanho do nó reflete o impacto (em termos de número de citações) do periódico. Os nós de uma mesma cor representam grupos de periódicos conectados detectados a partir de análises do VOSviewer. O escopo dos periódicos científicos ou o número de vezes que eles são co-citados são alguns dos parâmetros utilizadas para o agrupamento em cores (AHMAD *et al.*, 2021). Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** observa-se que os jornais "*Construction and Building Materials*", "*Cement and Concrete Composites*" e "*Journal of Cleaner Production*" têm nós relativamente maiores do que o restante dos periódicos, o que significa que esses periódicos tiveram mais citações dentre os documentos analisados.

Figura 2: Rede de citação de periódicos desenvolvida no *software* VOSviewer



Fonte: Autores (2023)

As linhas de conexão e suas respectivas espessuras demonstram as conexões (links) existentes entre as revistas científicas (AHMAD *et al.*, 2021). As conexões entre os nós mais próximos são mais fortes do que aqueles que estão mais distantes (AHMAD *et al.*, 2021). A "*Construction and Building Materials*", por exemplo, possui um vínculo de citação mais forte com a "*Journal of Cleaner Production*" quando comparado com a "*Cement and Concrete Composites*". O conhecimento dessas medidas de impacto fornece informações importantes para pesquisadores na escolha dos periódicos para submeter os resultados de suas pesquisas.

3.3 IDENTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS

Para identificar os resíduos mais estudados pelos brasileiros que podem ser incorporados em matrizes cimentícias, as palavras-chave com maior número de ocorrências foram analisadas individualmente. As palavras que correspondiam aos possíveis resíduos foram selecionadas, agrupadas por sinônimos, e as ocorrências desses sinônimos foram somadas. Por exemplo, "*construction and demolition waste*", "*recycled aggregate*", "*c&d waste*" e outros 17 termos análogos foram considerados o mesmo resíduo: "resíduos de construção e demolição". Os 20 resíduos agrupados por sinônimos e o número de ocorrências desses sinônimos estão resumidos na Tabela 1.

Tabela 1: Resíduos mais estudados por pesquisadores brasileiros com potencial de aplicação em matrizes cimentícias

	Resíduo	Nº de ocorrências
1	Resíduos de construção e demolição	181
2	Cinza da casca de arroz	30
3	Resíduo de vidro	28
4	Borracha de pneu	27
5	Bagaço de cana-de-açúcar	27
6	Resíduos agrícolas	26
7	Resíduo cerâmico	24
8	Resíduo de madeira	22
9	Resíduo de bauxita	18
10	Resíduo de granito	16
11	Rejeito de barragem de minério de ferro (RBMF)	12
12	Cinzas volantes	11
13	Resíduo de areia de fundição	11
14	Grits (resíduo da indústria de celulose)	10
15	Resíduo de PET (Polietileno Tereftalato)	10
16	Escória de aciaria	10
17	Lodo de estações de tratamento de água	10

	Resíduo	Nº de ocorrências
18	Resíduo de mármore	9
19	Sílica ativa	7
20	Cal de carbureto	6

Fonte: Autores (2023)

Os resíduos presentes na tabela acima são gerados por diferentes atividades: construção civil, mineração, indústrias, atividades agrícolas e resíduos do dia a dia da vida urbana. O resíduo de construção e demolição (RCD) é o mais estudado para aplicação em matrizes cimentícias, no entanto, apenas em 2021 a Norma Brasileira NBR 15116 (ABNT, 2021), que trata da utilização de agregados reciclados, passou a permitir a utilização de até 20% de RCD em concretos estruturais.

A transição da construção civil para um modelo econômico mais sustentável ainda enfrenta desafios - principalmente desafios comportamentais e fiscais. Ainda há pouca aceitação por parte da sociedade (tanto clientes finais quanto prestadores de serviço de construção civil) em relação aos materiais de construção que utilizam resíduos (COSENZA, ANDRADE e ASSUNÇÃO, 2020). Além disso, faltam investimentos e incentivos fiscais que favoreçam o uso de materiais reciclados (COSENZA, ANDRADE e ASSUNÇÃO, 2020; OLIVEIRA, LUNA e CAMPOS, 2019). E, por fim, a extensão territorial brasileira também representa uma barreira na reutilização de resíduos, uma vez que os resíduos que podem ser incorporados em matrizes cimentícias estão distribuídos de forma heterogênea pelo país (SNIC, 2019).

4 CONCLUSÕES

Este trabalho identificou os 20 resíduos mais estudados por pesquisadores brasileiros que podem ser incorporados a matrizes cimentícias, com o objetivo de contribuir para o entendimento das tendências de publicação na área, bem como para o desenvolvimento de pesquisadas futuras. Entre os resíduos mais estudados, destacam-se os resíduos de construção e demolição (RCD), cinzas da casca de arroz, resíduos de vidro, resíduos de pneu e cinzas do bagaço de cana-de-açúcar.

A análise dos dados bibliométricos mostrou que os estudos sobre a temática têm se intensificado nos últimos anos, principalmente a partir de 2018. A "*Construction and Building Materials*" é o periódico que mais se destaca em publicações da área. Por fim, ressalta-se a importância da implantação de políticas públicas que incentivem a efetiva utilização desses resíduos, bem como uma forte fiscalização sobre a disposição de resíduos no meio ambiente, para que os diversos estudos mapeados nessa pesquisa possam ser efetivamente colocados em prática.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto (PROPEC), à Pró-reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (PROPPI-UFOP) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, pelo apoio e financiamento das bolsas de doutorado de Aldo Ribeiro de Carvalho, Carolina de Melo Nunes Lopes e Vítor Freitas Mendes.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15116**: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro. 2021.

AHMAD, Waqas; AHMAD, Ayaz; OSTROWSKI, Krzysztof Adam; ASLAM, Fahid; JOYKLAD, Panuwat. A scientometric review of waste material utilization in concrete for sustainable construction. **Case Studies in Construction Materials**, v. 15, p. e00683, 2021.

AKHTAR, Ali; SARMAH, Ajit K. Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 186, p. 262-281, 2018.

CARVALHO, A. R. de; SILVA JÚNIOR, G. da.; FONTES, W. C.; SILVA, G. J. B.; PEDROTI, L. G.; OLIVEIRA, T. M. de Influência do efeito fíler do pó de mármore na produção de concretos para pavimentos intertravados. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 23, n. 4, p. 217-239, out./dez. 2023.

COSENZA, José P.; ANDRADE, Eurídice M.; ASSUNÇÃO, Gardênia M. Economia circular como alternativa para o crescimento sustentável brasileiro: análise da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 9, n. 1, p. 16147, 2020.

OLIVEIRA, C. T.; LUNA, M. M.; CAMPOS, L. M. Understanding the Brazilian expanded polystyrene supply chain and its reverse logistics towards circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 235, p. 562-573, 2019.

PANESAR, Daman K.; KANRAJ, Deepak; ABUALROUS, Yasar. Effect of transportation of fly ash: Life cycle assessment and life cycle cost analysis of concrete. **Cement and Concrete Composites**, v. 99, p. 214-224, 2019.

Sindicato Nacional da Indústria do Cimento - SNIC. **ROADMAP tecnológico do cimento: potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050**. Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. Rio de Janeiro. 2019.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAME - UNEP. **2021 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector**. Nairobi. 2021.