

Análise bibliométrica sobre borracha de pneus incorporada em compósitos de cimento

Cesar Fabiano Fioriti

Professor Doutor, FCT/UNESP, Brasil
c.fioriti@unesp.br

Carolina Lotufo Bueno Bartholomei

Professora Doutora, FCT/UNESP, Brasil
carolina.lotufo@unesp.br

Nayra Yumi Tsutsumoto

Professora Mestre, IFSP/Ilha Solteira, Brasil
nayra.yumi@ifsp.edu.br

RESUMO

A utilização de borracha pneumática para a produção de materiais alternativos cimentícios (concretos, argamassas e pastas), ligada à vertente ambiental, vem sendo estudada amplamente há mais de duas décadas. Nesse período, avanços em relação à melhoria das propriedades mecânicas foram alcançados, principalmente quando são realizados tratamentos químicos nas partículas de borracha. Contudo, o objetivo deste trabalho centrou na realização de uma análise bibliométrica, a partir de dados da plataforma *Web of Science*, referente à produção científica dos últimos dez anos (2014 a 2023) de periódicos (Qualis CAPES A1 a A4) sobre a incorporação de borracha de pneus em compósitos de cimento. Diante do universo amostral utilizado, foi constatado no período que: (i) as argamassas são mais utilizadas nas incorporações de borracha, (ii) o periódico *Construction and Building Materials* (Qualis CAPES A1 e fator de impacto JCR 7,693) publicou mais artigos, (iii) 63,64% dos artigos publicados são de periódicos com Qualis CAPES A1, (iv) da China decorre a maioria dos artigos publicados, e (v) a bibliometria evidenciou a continuidade do interesse científico sobre a referida temática.

PALAVRAS-CHAVE: Material alternativo. Sustentabilidade. Construção civil.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente tanto agências ambientais como órgãos em todo o mundo têm se preocupado com a gestão dos resíduos (ABDOLPOUR et al., 2021). De maneira paralela, o número de veículos circulando todos os dias acarreta em consumo exacerbado de pneus inservíveis. No Brasil (AGÊNCIA BRASIL, 2022), em torno de 450 mil toneladas de pneus fora de uso são descartadas anualmente. Essa quantidade se refere aproximadamente a 90 milhões de pneus de tamanho comum, que podem levar mais de 600 anos para que ocorra sua completa decomposição na natureza.

Referente às cargas de impacto no concreto, a borracha de pneus se apresenta como alternativa para minimizar esse problema, em função de sua flexibilidade, mesmo ciente das propriedades mecânicas prejudicadas, visto que o tratamento adequado da borracha auxilia no processo de superação destas perdas, tais como: tratamento mecânico, térmico, químico e por micro-ondas (ASSAGGAF et al. 2021).

Em estudo que envolveu efeitos combinados de nanotubos de carbono e partículas de borracha de pneus na verificação da durabilidade e estrutura de poros de concretos, Shao et al. (2023) verificaram que o teor de até 15% de incorporação propiciou redução de absorção de água e a penetração de cloretos em 21,1 e 32,3%, respectivamente, em comparação ao concreto convencional. Além disso, a incorporação de nanotubos de carbono aliviou o engrossamento e a deterioração da estrutura dos poros causada pelas partículas de borracha, ou seja, melhorou a estrutura dos poros e a permeabilidade. Não obstante, Etli (2023) afirmou que concreto autoadensável com borracha incorporada até o limite de 15%, somado ao efeito do uso de sílica ativa nos compósitos produzidos, apresenta desempenho considerado suficiente para ser aplicado na construção civil.

A ligação interfacial da borracha de pneus com a pasta de cimento pode também ser menos afetada por meio do tratamento da borracha utilizando argila modificada, pois a resistência à compressão, tração, flexão e impacto de concretos utilizando essa técnica propiciaram resultados com redução de apenas 0,45% quando comparados à pasta referência

(NAGARAJAN e SHANMUGASUNDARAM, 2021).

Para Li et al. (2019), a realização de tratamento químico na borracha de pneus a torna eficiente, compensando as perdas de resistência mecânica no concreto, melhorando sua ductilidade e reduzindo sua condutividade térmica, elétrica e acústica, tornando-se uma opção interessante na produção de concretos isolantes térmicos e acústicos.

Ainda a respeito dos tratamentos na borracha, o estudo inovador de Liu e Tran (2023) possibilitou aumento da resistência à compressão em argamassas tratadas com revestimento de geopolímero de 10,3%, quando comparada a argamassa com borracha sem nenhum tipo de tratamento. Nesse caso, o avanço dos resultados está associado ao aumento da rigidez das partículas revestidas com geopolímero, além da ligação interfacial que foi melhorada.

Nessa mesma linha, Zhu et al. (2023) modificaram a superfície da borracha com ácido tânico (TA) e nano-TiO₂ para utilizarem em argamassas. Os resultados apontaram que as propriedades mecânicas básicas e a caracterização microscópica foram melhoradas devido à alteração da capacidade de ligação entre a borracha modificada e a borracha de pneus. Cabe também inteirar que a argamassa produzida evoluiu as propriedades fotocatalíticas. Por fim, manteve sua estrutura interna estável durante a fotodegradação, tornando-se um material com potencial uso para pisos rodoviários.

Porém, Mermerdas et al. (2023) produziram argamassas com o intuito de obter compósitos geopoliméricos emborrachados, utilizando níveis de borracha de 10 a 40%. Os resultados apontaram que a fluidez, massa específica, resistência à compressão e a condutividade térmica dos compósitos geopoliméricos diminuíram, enquanto a capacidade de absorção de água aumentou. Os autores afirmaram que apesar dos efeitos negativos nas propriedades mecânicas, a borracha de pneus pode continuar sendo explorada, com atenção a um nível de substituição limitado e sob controle rigoroso. Já para Deng et al. (2023), também acerca de argamassas poliméricas, seus estudos apresentaram aumento na resistência à flexão (atribuída a boa ligação entre a matriz e as partículas de borracha), na resistência a altas temperaturas (efeito ponte das microfibras), e na redução da alta sorvidade (aumentando a dificuldade na sucção capilar de água e na penetração de cloretos).

No que diz respeito à resistência ao congelamento/degelo, Maddalena (2023) observou que, em argamassas com incorporação de até 20% de borracha de pneus, após 20 ciclos de congelamento/degelo, ocorreu progresso dos valores de resistividade térmica e redução da sua capacidade de absorção de água em até 52%.

Quanto à viabilidade ambiental, Santos-Ortega (2023) estudaram argamassas com incorporação de 10 a 40% de borracha de pneus triturada e concluíram que diante das diversas alternativas avaliadas no trabalho, alcançaram uma redução de aproximadamente 37% nas emissões de kg de CO₂, e também uma redução em torno de 42% no esgotamento abiótico dos combustíveis fósseis (referente à substituição de 40% do agregado fino pela borracha). Contudo, o estudo alerta que a distância de transporte dos materiais reciclados até o local de produção é considerada um fator decisivo.

Diante do exposto, controvérsias ainda são encontradas na literatura referente à questão da melhora ou piora das propriedades mecânicas nos compósitos cimentícios com borracha de pneus incorporada. E conforme apresentado, a tendência de realizar tratamento

na borracha de pneus antes de sua aplicação tende a favorecer a expectativa de resultados superiores ou mesmo com diferença sutil quando comparados aos compósitos de referência (sem borracha de pneus). As bibliografias indicam que o tratamento da borracha é um campo a ser mais explorado nas pesquisas futuras envolvendo esse material alternativo, criando, de fato, uma expectativa promissora para que em um futuro não distante a borracha possa ser empregada com sucesso na composição de materiais a serem utilizados no setor da construção civil.

Outro fator importante se refere às dimensões das partículas de borracha utilizadas, visto que Yang et al. (2023) relataram influência desfavorável com o aumento de tamanho das partículas de borracha nos compósitos, mas que está de forma negativa correlacionada com sua fração volumétrica, além disso, afirmaram que frações de borracha menores propiciam melhoria na capacidade de absorção de energia das argamassas.

Também seria relevante considerar a origem da borracha empregada, já que a maioria dos trabalhos não relata a procedência dos pneus, ou seja, normalmente não temos a informação se a borracha foi adquirida de pneus de automóveis, caminhões, tratores, aviões, entre outros. Destarte, o mecanismo para a obtenção dos fragmentos de borracha é informado nos trabalhos, isto é, se o pneu passou por trituração mecânica, resíduos de recauchutagem (raspagem da banda de rodagem), criogenia, etc.

Conforme o exposto, o objetivo deste trabalho centrou na realização de uma análise bibliométrica, a partir de dados da plataforma *Web of Science*, referente à produção científica dos últimos dez anos (2014 a 2023) de periódicos (Qualis CAPES A1 a A4) sobre a incorporação de borracha de pneus em compósitos de cimento.

2 METODOLOGIA

O trabalho considerou a metodologia intitulada como quantitativa e exploratória, cuja base de seu desenvolvimento foi realizada em Braz e Silva (2020) e, como relatado por Cordeiro et al. (2023), o processo idealiza aferir índices de produção científica e sua disseminação. Conforme Mussi et al. (2019), a pesquisa quantitativa propicia obter tanto indicadores como tendências atuais sobre determinado assunto, ou seja, apresentar dados considerados representativos e objetivos. Por sua vez, Gil (1996) relatou que a pesquisa exploratória objetiva maior proximidade com a problemática, possibilitando a construção de hipóteses (normalmente associada às pesquisas bibliográficas e realização de estudos de caso).

Os dados foram alcançados por meio de análise bibliométrica, que segundo Soares et al. (2016), consiste na realização de análise quantitativa de uma determinada área de conhecimento, sendo que tais dados mensuram a contribuição científica do conjunto de publicações na área em questão.

Destarte, o trabalho em questão utilizou a intitulada Lei de Bradford, que desempenha função própria e, de maneira geral, consiste em correlacionar a dispersão de ‘artigos x periódicos’ (QUEVEDO-SILVA et al., 2016; BRAZ e SILVA, 2020).

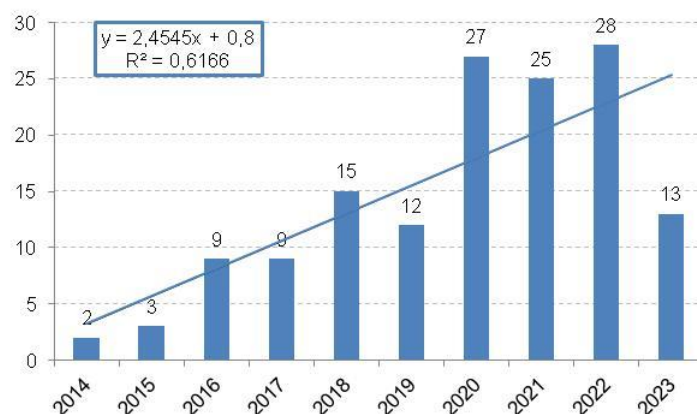
A plataforma utilizada na pesquisa dos artigos científicos foi a *Web of Science*, cujo período de busca compreendeu publicações realizadas nos últimos 10 anos (entre 2014 a 2023), em que a expressão de busca utilizada foi ‘tires rubber concrete mortar cement’, e

baseado em Braz e Silva (2020) as categorias pautadas foram: (i) quantitativo de produção anual, (ii) Qualis CAPES do periódico, (iii) relação dos periódicos que tiveram os artigos publicados, (iv) áreas de conhecimento, (v) países que originaram os trabalhos, e (vi) vinculação profissional dos autores. Nos trabalhos analisados, tanto os resumos como os objetivos e a conclusão foram lidos. Com relação ao Qualis CAPES, foram considerados apenas artigos publicados em periódicos A1, A2, A3 e A4. As áreas de conhecimento utilizadas foram: construção civil, materiais e engenharia.

3. RESULTADOS E ANÁLISE

A pesquisa realizada na plataforma *Web of Science* resultou em um total de 143 artigos, dos quais 136 oriundos de metodologias experimentais e 7 artigos de revisão bibliográfica. A Figura 1 apresenta a produção científica por ano.

Figura 1 – Produção científica na plataforma *Web of Science* referente a temática borracha de pneus em compósitos cimentícios por ano.

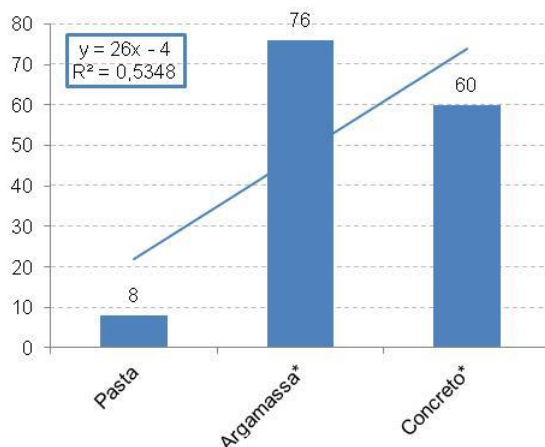


Fonte: Autores, 2023.

Pela Figura 1 é possível observar que a linha de tendência denota o crescimento do número de publicações com o decorrer dos anos, com exceção dos anos 2019 e 2023. O pico das publicações foi de 2020 a 2022, constituindo 80 publicações no período. O modelo de regressão indica 62% da variância dos dados. Apenas a título informativo, considerando todos os artigos publicados no período escolhido, sem discriminar a área de atuação, o número se eleva para 479 publicações.

Quanto aos compósitos cimentícios, a Figura 2 apresenta a classificação dos artigos por material.

Figura 2 – Classificação dos artigos obtidos na plataforma *Web of Science* por tipo de material cimentício incorporado com borracha de pneus.



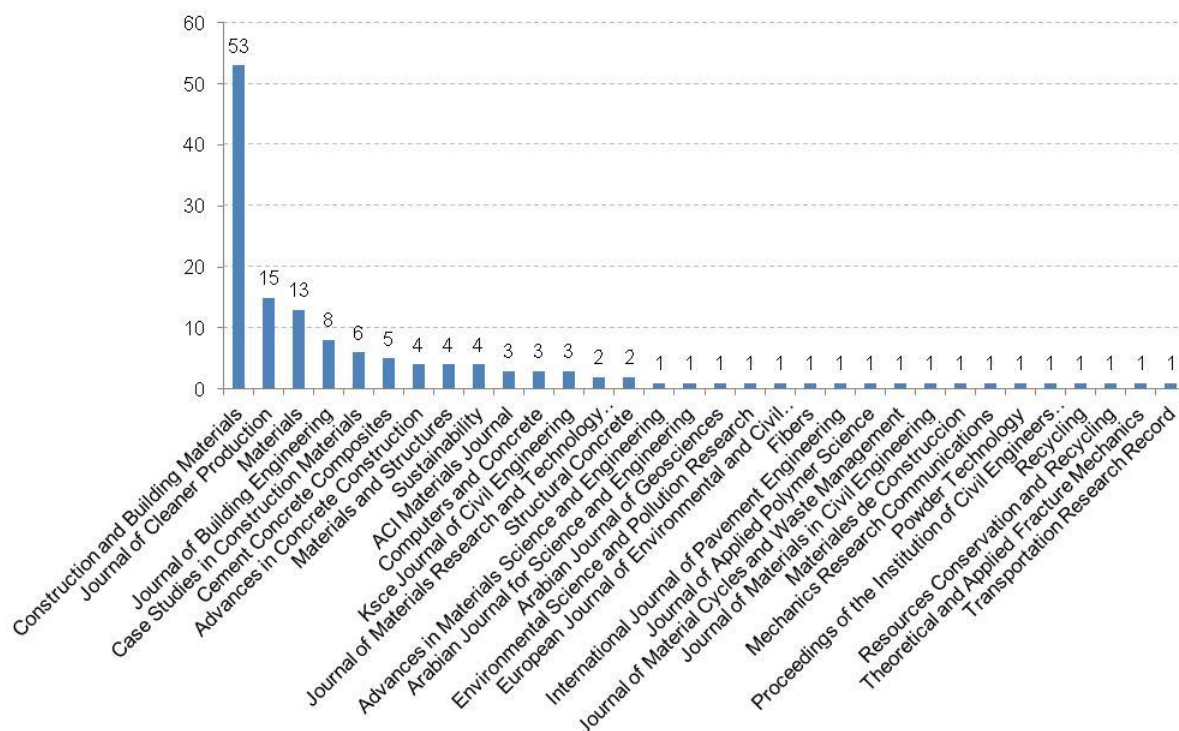
* Um artigo utilizou tanto argamassa como concreto, contabilizando uma unidade para cada material.

Fonte: Autores, 2023.

As argamassas foram os compósitos mais produzidos no período (52,78%), Figura 2, enquanto as pastas representaram apenas 5,55% e os concretos 41,67%. A explicação para esse quantitativo pode estar relacionado ao fato das propriedades mecânicas terem tendência de redução ao sofrerem incorporação da borracha de pneus, e se tratando das argamassas com tratamento químico da borracha, dependendo da possível destinação final pretendida, outras características como impacto, condutividade térmica, resistência a altas temperaturas e mesmo flexão acabam sendo mais atraentes e conseqüentemente mais exploradas. A sequência dos dados da Figura 2 apresenta a evolução da constituição do material cimentício, sendo pasta – argamassa – concreto, cujo modelo de regressão nesse caso indica 53% da variância.

A relação dos periódicos em que foram publicados os artigos é apresentada na Figura 3.

Figura 3 – Produção científica obtida na plataforma *Web of Science* referente a temática borracha de pneus em compósitos cimentícios, por periódico.

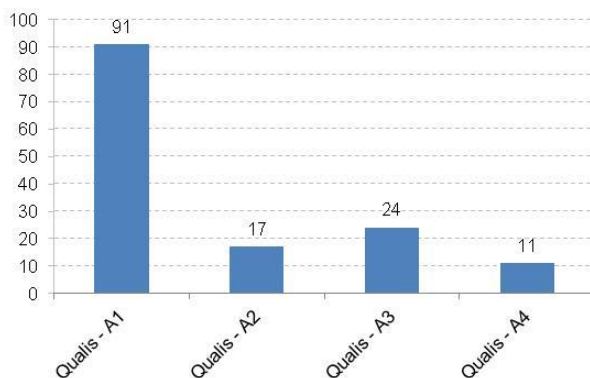


Fonte: Autores, 2023.

Conforme apresenta a Figura 3, o periódico *Construction and Building Materials* foi o mais utilizado para publicar os artigos na temática em pauta, representando 37,02% do total das publicações no período. Cabe relatar que o periódico em questão é internacional (bem como os demais apresentados), tem seu foco dedicado à investigação e aplicação contemporânea de materiais na construção, de acesso aberto, e possui alto valor de impacto. No segundo e terceiro plano temos o *Journal of Cleaner Production* e o *Materials*, com 10,49% e 9,09%, respectivamente.

A classificação referente ao Qualis CAPES dos periódicos é apresentada na Figura 4.

Figura 4 – Classificação Qualis CAPES dos periódicos obtidos na plataforma *Web of Science* referente a borracha de pneus incorporada em compósitos cimentícios.

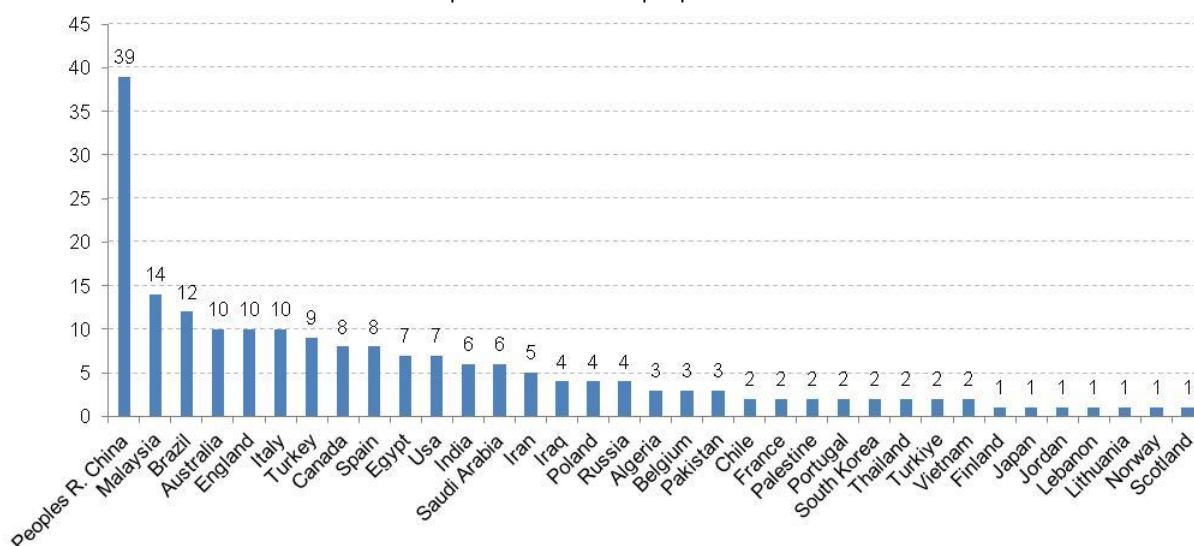


Fonte: Autores, 2023.

O estudo dessa temática se deu mais intensamente em meados dos anos 2000. Duas décadas mais tarde, percebe-se que os periódicos com Qualis CAPES A1 (63,64%) se sobrepõem sobre os demais A2 (11,89%), A3 (16,78%) e A4 (7,69%), indicando o não esgotamento do assunto, bem como a qualidade dos trabalhos publicados no período, e possibilitando alternativas para estudos posteriores. Convém relatar que, conforme Barata (2016), o Qualis é caracterizado como um instrumento utilizado para avaliar a produção intelectual, em que são produzidas correlações referentes aos aspectos qualitativos e quantitativos.

A produção científica referente à borracha de pneus em compósitos cimentícios por país, está apresentada na Figura 5.

Figura 5 – Produção científica na plataforma *Web of Science* referente a borracha de pneus incorporada em compósitos cimentícios por país.



Fonte: Autores, 2023.

O gráfico da Figura 5 apresenta a China como país que mais publica artigos na referida temática (27,27%) [6 artigos foram publicados afiliados a Tianjin University], não obstante, tal país é considerado um dos que mais poluem o planeta na atualidade. Posteriormente aparecem a Malásia (9,79%) e o Brasil (8,39%) [alavancadas pela Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP com a publicação de 6 artigos].

Ainda referindo-se à China, cabe mencionar que, no período relacionado o autor que mais publicou artigos foi Han Zhu (filiado a Tianjin University), conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Relação dos artigos publicados pelo autor Han Zhu na plataforma *Web of Science* referente a borracha de pneus incorporada em compósitos cimentícios no período.

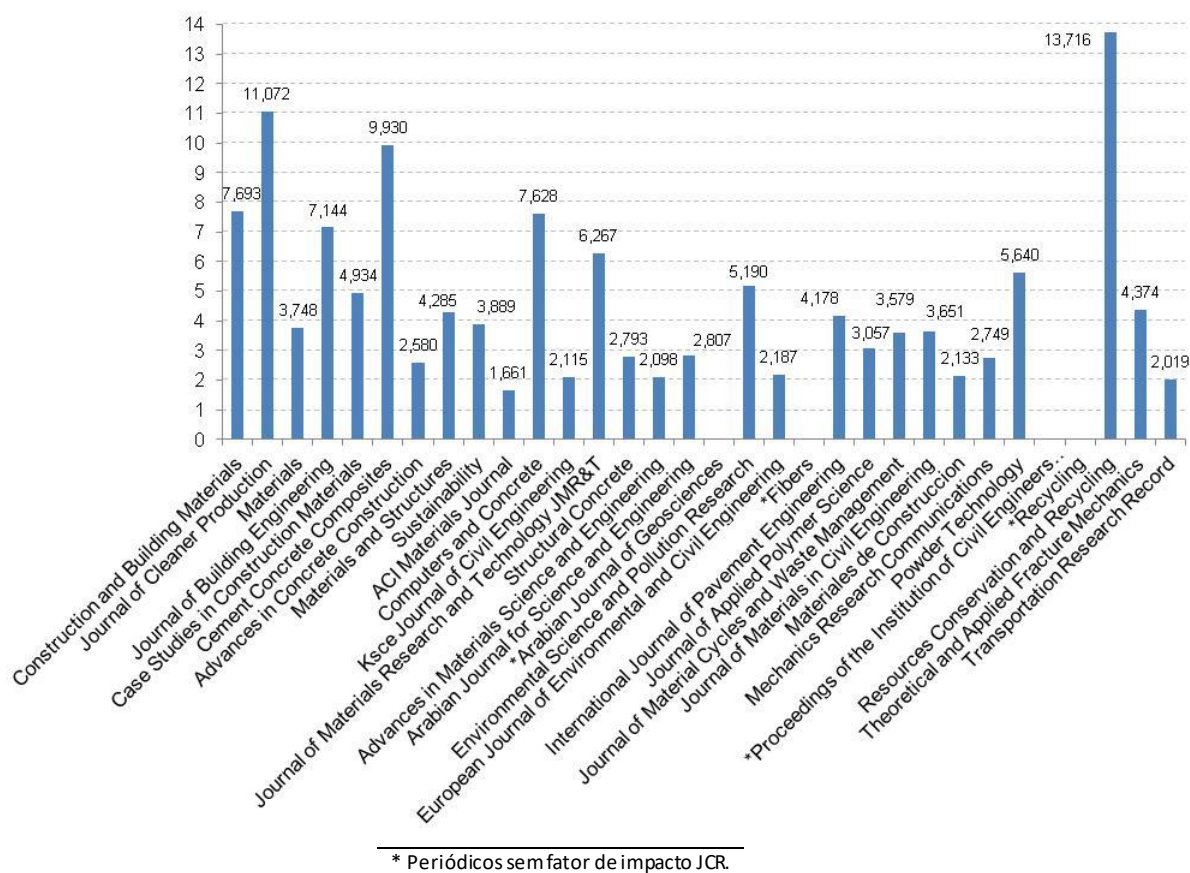
Autores	Ano	Periódico	Material	Qualis (CAPES)	Fator de Impacto (JCR)
Shao, J.; Zhu, H.; Haruna, S. I.; Xue, G.	2023	<i>Arabian Journal for Science and Engineering</i>	Concreto	A2	2,807
Shao, J.; Zhu, H.; Zhao, B.; Haruna, S. I.; Xue, G.; Jiang, W.; Wu, K.; Yang, J.	2022	<i>Construction and Building Materials</i>	Concreto	A1	7,693
Shao, J.; Zhu, H.; Xue, G.; Yu, Y.; Borito, S. M.; Jiang, W.	2021	<i>Construction and Building Materials</i>	Argamassa	A1	7,693
Liang, J.; Zhu, H.; Zhang, B.; Zhang, C.; Shao, J.; Duan, F.; Wang, J.	2020	<i>Construction and Building Materials</i>	Argamassa	A1	7,693
Yu, Y.; Zhu, H.	2019	<i>Materials</i>	Argamassa	A3	3,748
Yu, Y.; Zhu, H.	2016	<i>Materials</i>	Argamassa	A3	3,748

Fonte: Autores, 2023.

Sobre os autores, a pesquisa na plataforma *Web of Science* permite afirmar a não existência de um autor considerado predominante na temática em questão.

No que concerne ao *Journal Citation Reports (JCR)*, que consiste em atribuir um fator de impacto aos periódicos indexados na *Web of Science*, a Figura 6 apresenta os respectivos valores das métricas que os qualificam.

Figura 6 – Fator de impacto JCR dos periódicos na plataforma *Web of Science*.



Fonte: Autores, 2023.

A Figura 6 corrobora com os índices bibliométricos, ou seja, periódicos que apresentam índices mais elevados de fator impacto JCR possuem melhor classificação quanto aos conceitos obtidos no Qualis CAPES.

Conforme relataram Guedes *et al.* (2022), os elevados índices bibliométricos caracterizam os periódicos como de qualidade, indicando que os processos de avaliação dos artigos são considerados rígidos, visando a manutenção ou ampliação das métricas de impactos obtidas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os trabalhos relacionados à borracha de pneus em compósitos cimentícios, começaram a ser mais comumente publicados em meados dos anos 2000. Destarte, embora apenas a plataforma *Web of Science* tenha sido utilizada como fonte de busca no referido trabalho, o universo amostral compreendeu publicações em periódicos de referência, todos internacionais, indicando no cenário atual haver potencial de referenciais teóricos da temática em questão.

As argamassas são mais utilizadas nas incorporações de borracha de pneus, seguida dos concretos, e por último as pastas. O periódico *Construction and Building Materials*, que

tem Qualis CAPES A1 fator de impacto JCR 7,693; foi o que mais publicou artigos na temática. Do universo amostral utilizado no trabalho, 63,64% dos artigos foram publicados em periódicos com Qualis CAPES A1. Da China decorre a maior parcela de artigos publicados no período.

Por fim, após mais de duas décadas de estudos, a análise bibliométrica evidenciou a continuidade do interesse científico sobre a utilização de borracha pneumática para a produção de materiais alternativos cimentícios.

REFERÊNCIAS

ABDOLPOUR, H.; NIEWIADOMSKI, P.; SADOWSKI, L. Recycling of steel fibres and spent equilibrium catalyst in ultra-high performance concrete: literature review, research gaps, and future development. **Construction and Building Materials**, v.309, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125147>.

AGÊNCIA BRASIL. **Brasil descarta, por ano, mais de 450 mil toneladas de pneus**. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/geral/audio/2022-07/brasil-descarta-por-ano-mais-de-450-mil-toneladas-de-pneus>>. Acesso em: 12 out. 2023.

ASSAGGAF, R. A.; ALI, M. R.; AL-DULAIJAN, S. U.; MASLEHUDDIN, M. Properties of concrete with untreated and treated crumb rubber – A review. **Journal of Materials Research and Technology**, v.11, p.1753-1798, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.02.019>.

BARATA, R. C. B. **Dez coisas que você deveria saber sobre o Qualis**. RBPG, Brasília, v.13, n.1, janeiro/abril 2016. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/26/o/artigo_10_coisas.pdf. Acesso em: 16 de mar. 2023.

BRAZ, S. N.; SILVA, L. H. V. Pegada de carbono: uma análise bibliométrica. **Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v.9, n.17, p.60-73, 2020. Disponível em: <<https://www.cadernosuninter.com/index.php/meioAmbiente/article/view/1542>>. Acesso em: 22 de set. 2023.

CORDEIRO, F. N. C. S.; CORDEIRO, H. P.; PINTO, L. O. A. D.; SEFER, C. C. I.; SANTOS-LOBATO, E. V.; MENDONÇA, L. T.; SÁ, A. M. M. Estudos descritivos exploratórios qualitativos: um estudo bibliométrico. **Brazilian Journal of Health Review**, Curitiba, v.6, n.3, p.11670-11681, 2023. <https://doi.org/10.34119/bjhrv6n3-259>.

DENG, Z.; YANG, Z.; PAN, X. Synergetic effects of recycled crumb rubber and glass cullet on the engineering properties of geopolymer mortar. **Cement and Concrete Composites**, v.137, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104907>.

ETLI, S. Evaluation of the effect of silica fume on the fresh, mechanical and durability properties of self-compacting concrete produced by using waste rubber as fine aggregate. **Journal of Cleaner Production**, v.384, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135590>.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3. ed. São Paulo: Atlas; 1996.

GUEDES, F. L.; EL-DEIR, S. G.; ARAGÃO JÚNIOR, W. R.; JUCÁ, J. F. T. Analysis of scientific production of refused derived fuel through scientometric and bibliometric indicators. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.7, n.2, p.052–061, 2022. <https://doi.org/10.24221/jeap.7.2.2022.4509.052-061>.

LI, X.; LING, T.; MO, K. H. Functions and impacts of plastic/rubber wastes as eco-friendly aggregate in concrete – A review, **Construction and Building Materials**, v.240, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117869>.

LIANG, J.; ZHU, H.; ZHANG, B.; ZHANG, C.; SHAO, J.; DUAN, F.; WANG, J. Experimental research on controlling the floating of rubber particles in mortar based on the layering degree index. **Construction and Building Materials**, v.247, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118567>.

- LIU, J. and TRAN, P. Cement mortar containing crumb rubber coated with geopolymer: from microstructural properties to compressive strength. **Construction and Building Materials**, v.383, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131284>.
- MERMERDAŞ, K.; İPEK, S.; İŞIKER, Y.; RASOOL, H. Effect of waste tire aggregate on thermal and strength characteristics of fly ash-based geopolymer composites produced at various binder contents. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v.35, n.10, 2023. <https://doi.org/10.1061/JMCEE7.MTENG-15839>.
- MUSSI, R. F. F.; MUSSI, L. M. P. T.; ASSUNÇÃO, E. T. C.; NUNES, C. P. Pesquisa quantitativa e/ou qualitativa: distanciamentos, aproximações e possibilidades. **Revista Sustinere**, Rio de Janeiro, v.7, n.2, p.414-430, 2019. <https://doi.org/10.12957/sustinere.2019.41193>.
- NAGARAJAN, C. and SHANMUGASUNDARAM, P. Effect of modified clay treated crumb rubber and silica fume on the properties of concrete. **Structural Concrete**, v.23, p.2288-2300, 2021. <https://doi.org/10.1002/suco.202100085>.
- QUEVEDO-SILVA, F.; SANTOS, E. B. S.; BRANDÃO, M. M.; VILS, L. Estudo bibliométrico: orientações sobre sua aplicação [Bibliometric study: guidelines on its application]. **Revista Brasileira de Marketing: REMARK**, v.15, n.2, p.246-262, 2016. <https://doi.org/10.5585/remark.v15i2.3274>.
- SANTOS-ORTEGA, J., FRAILE-GARCÍA, E., FERREIRO-CABELLO, J. Methodology for the environmental analysis of mortar doped with crumb rubber from end-of-life tires. **Construction and Building Materials**, v.399, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132519>.
- SHAO, J.; ZHU, H.; XUE, G.; YU, Y.; BORITO, S. M.; JIANG, W. Mechanical and restrained shrinkage behaviors of cement mortar incorporating waste tire rubber particles and expansive agent. **Construction and Building Materials**, v.296, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123742>.
- SHAO, J.; ZHU, H.; HARUNA, S. I.; XUE, G. Durability and fractal analysis of pore structure of crumb rubber concrete modified with carbon nanotubes. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v.48, p.12959-12976, 2023. <https://doi.org/10.1007/s13369-023-07653-8>.
- SHAO, J.; ZHU, H.; ZHAO, B.; HARUNA, S. I.; XUE, G.; JIANG, W.; WU, K.; YANG, J. Combined effect of recycled tire rubber and carbon nanotubes on the mechanical properties and microstructure of concrete. **Construction and Building Materials**, v.322, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126493>.
- SOARES, P. B.; CARNEIRO, T. C. J.; CALMON, J. L.; CASTRO, L. O. C. O. Análise bibliométrica da produção científica brasileira sobre tecnologia de construção e edificações na base de dados Web of Science. **Ambiente Construído**, v.16, n.1, 2016. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000100067>.
- YANG, G.; FAN, Y.; LI, X.; XU, Y. Influence of rubber powder size and volume fraction on dynamic compressive properties of rubberized mortar. **Powder Technology**, v.420, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.118376>.
- YU Y.; ZHU H. Effects of rubber size on the cracking resistance of rubberized mortars. **Materials**, v.12, n.19, 2019. <https://doi.org/10.3390/ma12193132>.
- YU, Y.; ZHU, H. Influence of rubber size on properties of crumb rubber mortars. **Materials**, v.9, n.7, 2016. <https://doi.org/10.3390/ma9070527>.