

30 anos de investigações sobre concreto com adição de borracha (1990-2020). Uma análise bibliométrica

Z. Zarhri^{1*} , W. Rosado Martinez² , J. Dominguez Lepe² , R. E. Vega-Azamar² , M. Chan Juarez² , B. Pamplona Solis² 

* Autor de Contato: z.zarhri@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v12i1.554>

Recepção: 31/08/2021 | Aceitação: 09/12/2021 | Publicação: 01/01/2022

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo bibliométrico da literatura sobre o uso de borracha reciclada de pneus na indústria da construção para promover seu uso como matéria-prima para reduzir a poluição em nível global. Artigos publicados entre 1990 e 2020 em ambas as bases de dados Scopus e Web of Science (WoS) foram levados em consideração usando o Methodi Ordinatio e o software VOSviewer. Nesse período, foram publicados 967 documentos sobre o uso de borracha reciclada em concreto estrutural e não estrutural e 1182 autores contribuíram com o assunto. Desde 2010, o interesse dos pesquisadores em introduzir borracha reciclada em aplicações de construção aumentou significativamente. China, Estados Unidos da América e Austrália são os países líderes na pesquisa de concreto com adição de borracha.

Palavras-chave: concreto com adição de borracha; construção; borracha fragmentada; análise bibliométrica; *Methodi Ordinatio*.

Citar como: Zarhri, Z., Rosado Martinez, W., Dominguez Lepe, J., Vega Azamar, R. E., Chan Juarez, M., Pamplona Solis, B. (2022), “30 anos de investigações sobre concreto com adição de borracha (1990-2020). Uma análise bibliométrica”, Revista ALCONPAT, 12 (1), pp. 127 – 142, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v12i1.554>

¹ CONACYT-Tecnológico Nacional de México/I.T. Chetumal; Insurgentes 330, C.P. 77013, Chetumal, Quintana Roo, Mexico

² Tecnológico Nacional de México/I.T. Chetumal; Insurgentes 330, C.P. 77013, Chetumal, Quintana Roo, Mexico.

Contribuição de cada autor

Neste trabalho, William Rosado Martinez fez os estudos bibliométricos e contribuiu para a discussão e redação do manuscrito (30%). Zakaryaa Zarhri supervisionou todo o trabalho e redigiu o documento em inglês (30%). Jose Antonio Dominguez Lepe (10%), Ricardo Enrique Vega Azamar (10%) e Maritza Chan Juarez (10%) contribuíram para a discussão dos resultados e a correção do manuscrito. Blandy Berenice Pamplona Solis contribuiu com a metodologia e resultados do documento (10%).

Licença Creative Commons

Copyright (2022) é propriedade dos autores. Este trabalho é um artigo de acesso aberto publicado sob os termos e condições de uma Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0 ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discussões e correções pós-publicação

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no terceiro número do ano 2022, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do segundo número do ano de 2022.

30 years of rubberized concrete investigations (1990-2020). A bibliometric analysis

ABSTRACT

This work presents a bibliometric study of the literature on the use of recycled rubber from tires in the construction industry to promote its use as a 'raw' material to reduce pollution at a global level. Published papers between 1990 and 2020 in both databases Scopus and Web of Science (WoS) were taken into account using the *Methodi Ordinatio* and the VOSviewer software. A total of 967 documents on the use of recycled rubber in structural and non-structural concrete have been published during this time frame and 1182 authors have contributed on the subject. Since 2010, the interest of researchers to introduce recycled rubber in construction applications has increased markedly. China, the United States of America and Australia are the leading countries in rubberized concrete research.

Keywords: rubberized concrete; construction; crumb rubber; bibliometric analysis; *Methodi Ordinatio*.

30 años de investigaciones sobre concreto con caucho (1990-2020). Un análisis bibliométrico

RESUMEN

Este trabajo presenta un estudio bibliométrico de la literatura sobre el uso del caucho reciclado de las llantas en la industria de la construcción para promover el interés de utilizarlo como materia prima para reducir la contaminación a nivel global. Se consideraron los trabajos publicados en el período 1990-2020, tanto en las bases de datos de Scopus como de Web of Science (WoS), y se utilizó el *Methodi Ordinatio* y el software VOSviewer para llevar a cabo el análisis. En este período de tiempo, se ha publicado un total de 967 documentos sobre el uso del caucho en concretos estructurales y no estructurales y han contribuido 1182 autores en el tema. Desde 2010, ha aumentado notablemente el interés de los investigadores por introducir el caucho reciclado en aplicaciones constructivas. China, Estados Unidos y Australia son los países líderes en la investigación del concreto con caucho reciclado proveniente de los neumáticos.

Palabras clave: concreto con caucho reciclado; construcción; polvo de neumático; análisis bibliométrico; *Methodi Ordinatio*.

Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Merida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Reserva de direitos de uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e das imagens da publicação é realizada de acordo com o código COPE e a licença CC BY 4.0 da Revista ALCONPAT.

1. INTRODUÇÃO

A gestão e destinação inadequada de resíduos sólidos é uma das atividades que mais afetam o meio ambiente. Um aumento na geração de resíduos de até 70% é esperado até 2050, de 2,01 bilhões de toneladas em 2016, um total de 3,4 bilhões de toneladas de resíduos anuais é projetado para o ano de 2050, de acordo com o Banco Mundial no relatório de 2018 “What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050” (Banco Mundial, 2019).

Principalmente, quando se trata de borracha e resíduos de pneus, devido à sua natureza e potencial poluição, esse tipo de resíduo deve ser processado e enterrado em aterros sanitários como forma de disposição final, porém, isso pode levar à contaminação do solo e subsolo. Portanto, é importante encontrar uma forma de reaproveitar parcial ou totalmente esses resíduos para que, ao final de sua vida, possam ser transformados de material potencialmente poluente em matéria-prima para a indústria. Resíduos de pneus são um dos materiais mais poluentes porque a vulcanização é um processo irreversível, dificultando a elaboração de um plano de resíduos. Para o tratamento adequado desse tipo de resíduo, a indústria conta com instalações especiais de reciclagem, das quais podem ser obtidos subprodutos como fibras de reciclagem de pneus, borracha granulada, borracha em forma de cavacos, pó de borracha e também fibras de aço (Thomas et al., 2016).

Uma das soluções oferecidas é usá-lo como matéria-prima (Perez, 2015). Atualmente, a comunidade científica tem reconhecido o problema que isso representa, razão pela qual diferentes alternativas para o uso da borracha de resíduos e da indústria de reciclagem têm sido propostas e analisadas para sua aplicação em algumas áreas da engenharia. Isso envolve desenvolvimento econômico, criação de empregos, bem como o cumprimento de um objetivo principal: a redução de poluentes no meio ambiente (Al-Salem et al., 2009; Ghosh, 2019; Ruwona et al., 2019; Yang et al., 2018).

Esta revisão bibliográfica se baseia na busca dos artigos mais relevantes sobre o assunto, bem como em uma análise aprofundada da literatura selecionada, com o objetivo de levantar dados sobre a importância do estudo da borracha para a comunidade científica.

Este artigo tem como objetivo realizar uma análise quantitativa da evolução do estudo do concreto com adição de borracha entre 1990 e 2020, com o objetivo de compilar e analisar os mais importantes artigos de pesquisa utilizando o método bibliométrico *Methodi Ordinatio* (Pagani et al., 2015b) para obter os artigos mais relevantes com base no fator de impacto dos periódicos, no número de citações e no ano de publicação (De Campos et al., 2018). Este artigo é dirigido a pesquisadores e praticantes do assunto, exigindo uma extensa análise da literatura existente para trabalhos futuros.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a realização do trabalho, as bases de dados Scopus e Web of Science (WoS) foram consideradas de maior importância (mas principalmente da Scopus) no desenvolvimento da análise bibliométrica para a pesquisa bibliográfica, contemplando um período de busca entre janeiro de 1990 e novembro de 2020.

Uma vez que essas variáveis foram selecionadas, os bancos de dados foram explorados usando a palavra-chave ‘concreto com adição de borracha’ como ponto de partida. Foram encontrados 610 artigos na base de dados Scopus e 357 artigos na WoS. Com base nesses resultados, foram selecionadas as principais palavras-chave.

Posteriormente, foi gerado um banco de dados nos formatos Comma Separated Values (CSV) e Text File (TXT) para posterior análise em uma ferramenta de software para construção e visualização de redes bibliométricas denominado VOSviewer. A Fig. 1 mostra o diagrama das palavras-chave dos bancos de dados Scopus e WoS com base na frequência de repetição das

palavras.

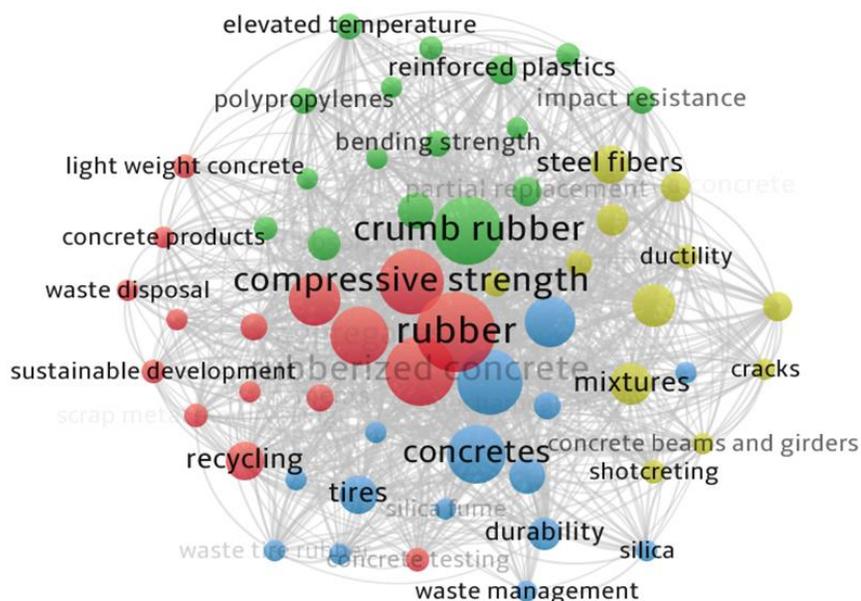


Figura 1. Mapa bibliométrico criado com VOSviewer mostrando a frequência (co-ocorrência de palavras-chave) de palavras-chave apresentadas em 'concreto com adição de borracha'

Para a revisão bibliográfica, foi utilizado o método *Methodi Ordinatio* (Pagani et al., 2015a), que consiste em 9 etapas:

- Fase 1: Estabelecimento da intenção de pesquisa: O objetivo da pesquisa foi analisar as informações nas bases de dados sobre o tema 'concreto com adição de borracha'
- Fase 2: Pesquisa preliminar no banco de dados com a palavra-chave 'concreto com adição de borracha'.
- Fase 3: Decisão final sobre a combinação de palavras-chave para a busca em bancos de dados: 'borracha em migalhas', 'comportamento', 'propriedades mecânicas', 'desempenho', 'resistência', 'concreto com adição de borracha', 'concreto', 'agregado', 'durabilidade' e 'borracha para pneus'.
- Fase 4: Pesquisa final nas bases de dados; os operadores Booleanos usados foram: 'borracha fragmentada' E 'comportamento' E 'propriedades mecânicas' E 'desempenho' E 'resistência' E 'concreto com adição de borracha' E 'concreto' E 'agregado' E 'durabilidade' E 'borracha de pneu'. Os resultados foram exportados em formato csv e txt para posterior análise no VOSviewer.
- Fase 5: Filtragem das informações: A partir da fase anterior, foram obtidos os artigos a serem filtrados, em seguida, procedeu-se à nova filtragem até a obtenção dos artigos mais relevantes para a aplicação da equação *InOrdinatio*.
- Fase 6: Identificação do fator de impacto, ano de publicação e número de citações: Com os resultados obtidos da busca nas duas bases de dados (Scopus e WoS), foi realizada a análise por número de citações e ano de publicação. O fator de impacto do jornal foi obtido por meio do banco de dados do Clarivate Analytics Incites Journal Citation Reports ou da Scopus Source List.
- Fase 7: Obtenção da classificação dos artigos: Concluída as fases 1 a 6, foi utilizada a equação do índice *InOrdinatio* para calcular a classificação dos artigos. Essa equação considera o total de citações, o fator de impacto e um fator de ponderação fornecido pelo pesquisador, que varia de 1 a 10.

$$InOrdinatio = \left(\frac{IF}{1000}\right) + \alpha (\text{ano de pesquisa} - \text{ano de publicação}) + \sum Ci$$

onde,

IF = fator de impacto (JCR, CiteScore, SJR ou SNIP)

α = coeficiente (1 a 10) que avalia a importância do ano em que o artigo foi publicado

Ano de pesquisa = ano em que a pesquisa foi realizada

$\sum Ci$ = número total de citações do artigo

Para considerar não apenas publicações de longa data, um valor alfa de sete foi escolhido (Pamplona Solis et al., 2019). Um valor alfa próximo a um ($\alpha = 1$) gera portfólios com artigos clássicos, mas se os artigos recentes são mais importantes para a pesquisa, então o valor alfa deve ser próximo a 10.

- Fase 8: Busca de artigos: Uma vez obtida a classificação dos artigos pelo método *InOrdinatio*, sua versão completa foi obtida por meio de um software de gerenciamento de referências como o Mendeley, Citavi ou Zotero.
- Fase 9. Leitura final e análise sistemática dos artigos: Uma revisão sistemática pode ser um trabalho extenso e trabalhoso; *Methodi Ordinatio* ajuda a criar uma lista ordenada de todos os artigos relevantes para facilitar a análise do pesquisador.

O VOSviewer é um software desenvolvido para complementar este tipo de metodologias. As informações que podem ser extraídas são a frequência da palavra-chave, que é exibida com base na área dos círculos. As menores representam palavras-chave que não são tão relevantes, enquanto as do meio (e maiores) representam palavras-chave relevantes nos diferentes artigos publicados. Por exemplo, a palavra 'borracha' é mais relevante por razões óbvias. Porém, em alguns artigos com a mesma palavra-chave, podem ser encontrados tópicos de interesse como o pré-tratamento do material ou a interface borracha-cimento. Em comparação com 'fibras de aço', que são as fibras de aço extraídas dos pneus usados, há pouco interesse dos pesquisadores, uma vez que há menos presença desta palavra-chave. Isso deixou claro que este diagrama fornece uma visão geral dos tópicos estudados e não reflete nenhum resultado final, é um procedimento prévio à filtragem.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O objetivo da pesquisa foi encontrar artigos contendo a palavra 'concreto com adição de borracha' no título, resumo ou palavras-chave no período entre 1990 e 2020.

O uso de borracha no concreto foi escolhido como o tema principal para a análise, portanto a primeira busca de artigos foi realizada considerando a inclusão da palavra-chave inicial 'concreto com adição de borracha'. A prioridade foi dada aos artigos na língua inglesa, bem como aos da base de dados Scopus. Para o período de análise, 610 artigos foram registrados no Scopus e 357 no WoS. A primeira publicação registrada na base de dados Scopus foi da American Society for Testing and Materials (ASTM) em 1990. A maior produção científica ocorreu em 2020 com 125 artigos publicados na base de dados Scopus e um total de 97 artigos na WoS. Na Fig. 2, pode-se observar mais detalhadamente como o estudo desse material para aplicações na construção civil vem crescendo.

Os resultados obtidos mostram a tendência de aumento do estudo do uso da borracha em traços de concreto nos últimos dez anos e destacam os artigos mais relevantes utilizando o índice *InOrdinatio*.

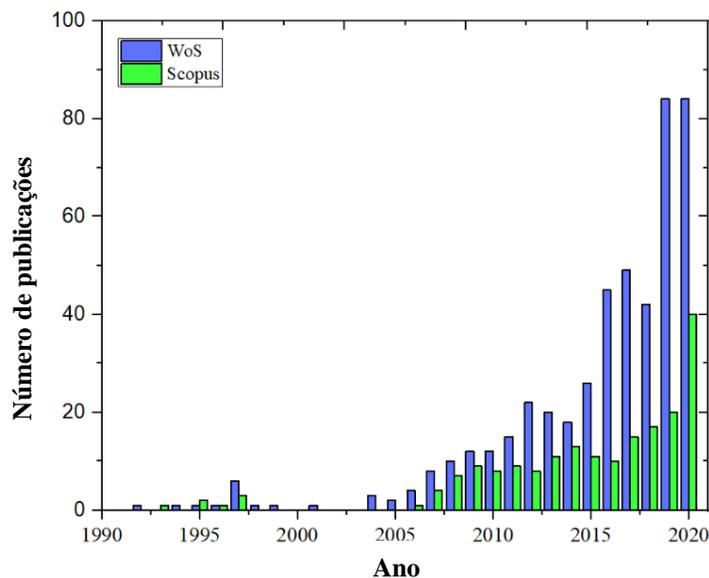


Figura 2. Número de artigos publicados por ano

A Fig. 2 mostra que, embora a frequência no estudo da borracha no concreto seja um tanto inconsistente em termos do número de artigos publicados por ano, nos últimos dez anos, os cientistas têm abordado esse tema em seus trabalhos de pesquisa com mais frequência. Isso resultou em uma maior produtividade dos artigos (aparentemente, a tendência continuará a aumentar nos próximos anos) e atualmente está sendo buscada como uma alternativa para mitigar a poluição global causada por resíduos de pneus.

De acordo com a base de dados Scopus, há um total de 610 artigos publicados sobre o tema ‘concreto com adição de borracha’ e um total de 1182 autores, entre janeiro de 1990 e novembro de 2020.

A Fig. 3 demonstra que o ano de maior atividade científica foi 2020 com um total de 409 autores. A tendência de pesquisas sobre o assunto tem aumentado substancialmente ao longo dos anos.

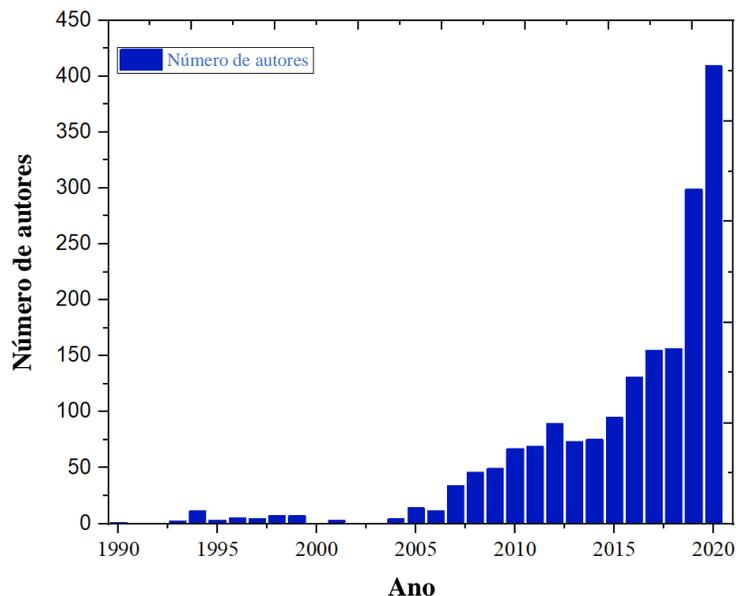


Figura 3. Número de autores por ano, 1990-2020.

A Fig. 4 mostra os dez principais países com maior número de contribuições no tema ‘concreto com adição de borracha’, os dez primeiros lugares foram considerados com base na quantidade de artigos publicados por ano.

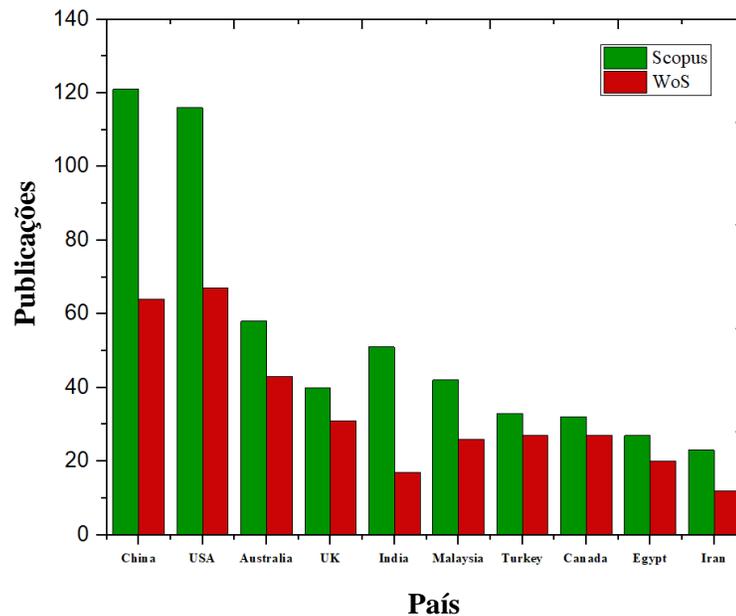


Figura 4. Os 10 principais países com o maior número de publicações (Scopus e WoS).

O país com maior produtividade científica é a China, com 121 artigos publicados pela Scopus, e 64 pela WoS, seguida dos Estados Unidos em segundo lugar e da Austrália em terceiro.

Definido o conjunto de artigos para análise da literatura, a busca foi realizada tanto no Scopus quanto no Web of Science. Para isso, foram utilizados os seguintes comandos Booleanos: 'TITLE-ABS-KEY (com adição de borracha E concreto) AND PUBYEAR > 2009 AND PUBYEAR < 2021' para Scopus, e 'TITLE-ABS-KEY (com adição de borracha E concreto) AND PUBYEAR > 1989 AND PUBYEAR < 2021' para WoS. Para o caso da WoS, foi considerada toda a coleção, enquanto para a Scopus foi considerada a totalidade da base de dados.

O portfólio total de artigos é composto por um total de 967. A Figura 4 ilustra como, durante a aplicação do método *InOrdinatio*, os artigos foram sendo descartados por questões de relevância ou porque o valor da *InOrdinatio* não era alto o suficiente para ser levado em consideração no portfólio final de documentos a serem analisados. A Tabela 1 mostra os artigos que atenderam aos critérios estabelecidos para um valor alfa de 7. A quantidade de artigos a serem analisados para o ranking *InOrdinatio* foi significativa, dado o recente aumento de produtividade sobre o assunto, em relação à década passada, porém, os artigos atendiam ao valor mínimo ou maior. Isso, devido a diversos fatores, como número insuficiente de citações ou baixo fator de impacto da revista para atingir o valor proposto.

Tabela 1. Número de artigos antes e depois dos filtros aplicados

Filtro	Artigos do portfólio	Artigos de cruzamento	Artigos restantes	%
WoS	610			
Scopus	357			
Portfólio bruto	967			100
Duplicado	140	140	827	85.52
Resenhas, capítulos de livros, artigos de conferências	98	98	729	75.38
Artigos publicados antes de 2010	105	105	624	64.52
<i>In Ordinato</i> <75	617	617	7	0.72
Total de artigos descartados	911			
Total de artigos considerados	7			

Tabela 2. Lista dos artigos classificados por ordem de *InOrdinatio* no portfólio final.

Autor	Título	Ano	<i>InOrdinatio</i> Alfa= 7	<i>InOrdinatio</i>
Pelisser et al.	Concreto feito com borracha de pneu reciclada: efeito da ativação alcalina e adição de sílica ativa (Pelisser et al., 2011)	2011	1	280.007246
Najim et al.	Propriedades mecânicas e dinâmicas do concreto modificado autoadensável com borracha fragmentada (Najim & Hall, 2012)	2012	2	181.004419
Su et al.	Propriedades do concreto preparado com partículas de borracha de pneus de tamanhos uniformes e variados (Su et al., 2015a)	2014	3	135.007246
Thomas et al.	Reciclagem de resíduos de borracha de pneus como agregado no concreto: desempenho relacionado à durabilidade (Thomas et al., 2016)	2016	4	132.007246
Onuaguluchi et al.	Propriedades no estado endurecido de misturas de concreto contendo borracha fragmentada pré-revestida e sílica ativa (Onuaguluchi & Panesar, 2014)	2014	5	121.007246
Xue et al.	Concreto com adição de borracha: Um material estrutural verde com capacidade aprimorada de dissipação de energia (Xue & Shinozuka, 2013)	2013	6	104.004419
Youssf et al.	Uma investigação experimental do concreto com adição de borracha fragmentado confinado por tubos de polímero reforçados com fibra (Youssf et al., 2014)	2014	7	87.004419

Apesar de a maioria dos artigos analisados terem sido publicados recentemente, isso afeta o portfólio final de artigos, uma vez que muitos deles não tiveram citações suficientes para atender a um valor de *InOrdinatio* igual ou superior a 7 (Tabela 2). No entanto, isso não significa que não haverá artigos no futuro se tornando uma referência para o estudo da borracha em aplicações na construção civil, especificamente em concreto estrutural e não estrutural. Um exemplo é a interface borracha-cimento que, futuramente, será muito útil para o desenvolvimento de traços de concreto com adição de borracha a partir deste tema de pesquisa. Outros pesquisadores forneceram dados que serão úteis para investigações de longo prazo sobre o uso de borracha como uma mistura em materiais compostos e eficiência estrutural (Ataria & Wang, 2019). Os artigos mais importantes, de acordo com esta análise, estão listados na Tabela 2.

Outros autores também forneceram um resumo de 30 anos de pesquisa da borracha como material de construção, fornecendo uma análise extensa sobre pré-tratamento, propriedades mecânicas, propriedades físicas e outros dados úteis (Roychand et al., 2020).

Durante a análise da *InOrdinatio*, um total de 967 artigos foram inicialmente considerados na análise. Após a aplicação do filtro número dois, um total de 382 artigos foi considerado para a análise final. A Tabela 3 mostra as dez palavras-chave mais utilizadas nos estudos de borracha no concreto, bem como sua frequência. Estes artigos foram posteriormente analisados no software VOSviewer onde se pode verificar que a palavra-chave com maior presença na maioria dos artigos é 'borracha' com um total de 355 e a de menor frequência é “propriedades mecânicas” com um total de 82.

Tabela 3. As 10 principais coincidências de palavras-chave na revisão bibliográfica

Palavra-chave	Simultaneidade
rubber (borracha)	355
rubberized concrete (concreto com adição de borracha)	305
concretes (concretos)	234
compressive strength (resistência à compressão)	218
aggregates (agregados)	162
concrete aggregates (agregados de concreto)	127
crumb rubber (fragmentos de borracha)	128
tires (pneus)	95
tensile strength (resistência à tração)	94
mechanical properties (propriedades mecânicas)	82

A Fig. 5 mostra que a prioridade dos pesquisadores é a incorporação da borracha na construção civil, conforme a literatura. Por se tratar de uma preocupação global de poluição, esta tendência se reflete no uso das diferentes palavras-chave apresentadas na tabela acima mencionada. Além disso, no concreto com adição de borracha, um dos problemas que os pesquisadores têm tentado melhorar ao longo dos anos é a resistência à compressão, questão de extrema importância no desempenho do concreto por ser uma de suas funções principais, por isso o estudo desta propriedade específica é prioritário. Por isso, sua frequência é maior quando comparada a outras propriedades mecânicas. Observe que diferenças podem ser encontradas ao alterar os comandos Booleanos, portanto, os resultados podem ser diferentes e mais específicos.

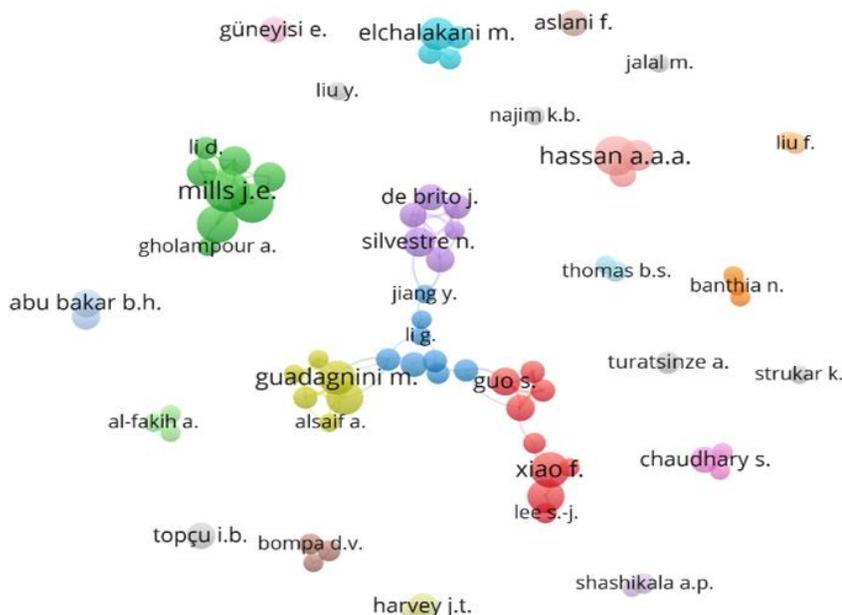


Figura 6. Diagrama de coautoria baseado em publicações de ‘concreto com adição de borracha’

Durante o período de 1990 a 2020, um total de 610 documentos foram publicados de acordo com a base de dados Scopus. Uma tendência inconsistente pode ser percebida nas publicações até 2007 e, a partir desse ano, a produtividade começou a aumentar significativamente até hoje. Para uma melhor análise, a Tabela 5 contém os dados dos artigos publicados por ano.

Tabela 5. Produtividade de artigos por ano do tema ‘concreto com adição de borracha’

Ano	Artigos	Ano	Artigos	Ano	Artigos
1990	1	2001	2	2012	38
1991	0	2002	0	2013	27
1992	0	2003	0	2014	26
1993	1	2004	6	2015	30
1994	5	2005	5	2016	51
1995	2	2006	6	2017	58
1996	3	2007	9	2018	53
1997	6	2008	16	2019	87
1998	4	2009	21	2020	111
1999	2	2010	17		
2000	0	2011	23		
Total			610		

A China, apesar de ser o primeiro país com maior produtividade em pesquisa, é o nono mais citado, sendo o Irã o que ocupa a primeira posição com 482 citações, portanto, apesar de sua baixa produtividade é colocado na primeira posição (Tabela 6). Essa tendência pode ser devida ao fato de os artigos publicados por pesquisadores iranianos apresentarem um fator de impacto de periódico superior quando comparados aos de pesquisadores chineses cujo fator de impacto não é tão alto. Um exemplo disso é Su et al. (2015b) e Chen et al. (2019) que, apesar de não serem artigos antigos, podem ser considerados clássicos sobre o assunto.

Tabela 6. Top 10 dos países mais citados.

País	Citações
Irã	482
Turquia	435
Canadá	362
Estados Unidos da América	282
Austrália	271
Índia	231
Iraque	148
Egito	113
China	84
Malásia	65

Austrália e Estados Unidos têm uma relação produtividade-citação semelhante. Sendo estes os países mais importantes quando ambas as variáveis são consideradas. Porém, o Irã apresenta o maior número de citações e o 10º lugar em produtividade documental. A Fig. 7 mostra uma representação gráfica da colaboração entre os países e como eles estão ligados entre si. É um complemento ao diagrama da Fig. 6, mas foca na colaboração entre países na tentativa de especificar quais lugares do mundo têm interesse no assunto em termos de produtividade científica.

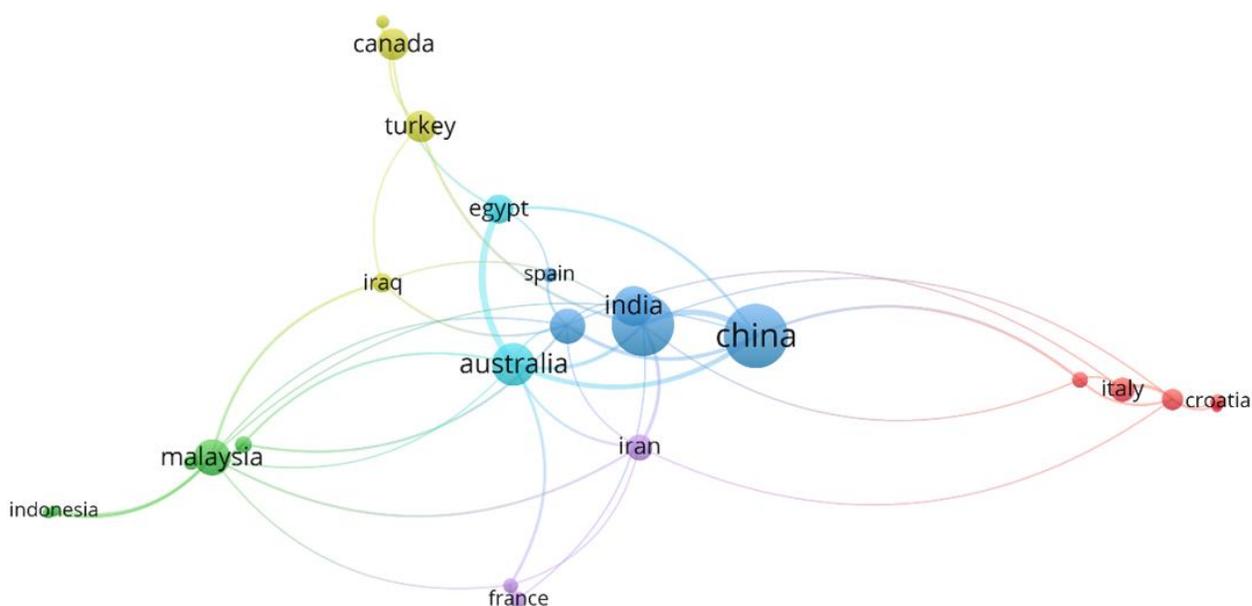


Figura 7. Diagrama de colaboração do país com base na coautoria de publicações sobre o tema 'concreto com adição de borracha'

A revista com maior produtividade é *Construction and Building Materials*, com fator de impacto de 4,69. No entanto, o jornal com o fator de impacto mais alto é o *Journal of Cleaner Production* com um IF de 7,10, esses valores de impacto estão de acordo com o Clarivate Analytics.

Os objetivos e escopo dos periódicos são principalmente construção, ciência dos materiais e questões ambientais. Em geral, a maior parte da pesquisa se concentra na construção sustentável (Su et al., 2015b), materiais alternativos (Yang et al., 2018) e, em alguns casos, análise mecânica de estruturas (Ataria & Wang, 2019) (Tabela 7).

Tabela 7. Produtividade de publicações e citações por periódico

Fonte	Documentos	Citações
Construction and Building Materials	115	3739
Journal of Cleaner Production	32	1354
Journal of Materials in Civil Engineering	23	1291
Engineering Structures	8	153
ACI Materials Journal	13	187
Materials and Structures/Materiaux et Constructions	11	403
Materials	14	86
Composite Structures	8	82
Journal of Building Engineering	7	142
Structures	6	95

Os três periódicos com maior número de citações são *Construction and Building Materials* com 3.739 citações, *Journal of Cleaner Production* com 1354 e *Journal of Materials in Civil Engineering* com 1291. Esses três periódicos são os que apresentam maior produtividade e quantidade de citações no mundo (Tabela 7). A Fig. 8 mostra graficamente como os dados se comportam e dá uma ideia de quais são os periódicos mais importantes que os autores consideram para suas publicações. É um complemento à Tabela 7 e nos dá uma representação visual dos dados apresentados nesta tabela.

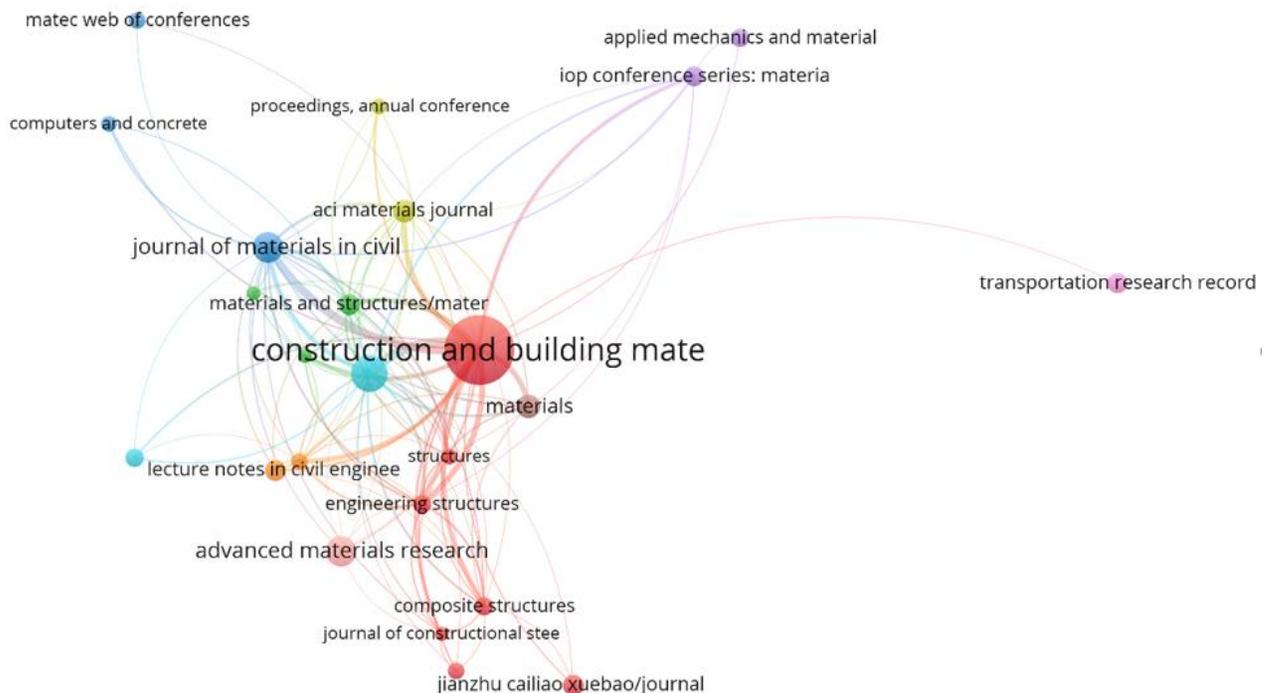


Figura 8. Mapa bibliométrico baseado nas citações dos periódicos mais relevantes sobre o tema ‘concreto com adição de borracha’

4. ANÁLISE CRÍTICA DAS PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES E NECESSIDADES ATUAIS DO CONCRETO COM RESÍDUOS DE PNEUS

Foi possível verificar que o uso de sílica ativa melhora a resistência mecânica do concreto com a adição de borracha. Apenas uma redução de 14% na resistência à compressão pode ser obtida. No entanto, seria interessante investigar como a resistência à compressão pode ser afetada ou melhorada com o complemento de sílica ativa. A sílica ativa também é considerada um melhorador da interface entre borracha e cimento, por isso pode ser proposta para o projeto de misturas de concreto com adição de borracha como material cimentício para melhorar a interface entre borracha e cimento (Pelisser et al., 2011).

As propriedades mecânicas e dinâmicas do concreto autoadensável foram investigadas, a borracha granulada foi utilizada como substituto do agregado fino, agregado graúdo e ambos (agregado fino e graúdo). As propriedades mecânicas do concreto com adição de borracha, neste caso, são suficientes para serem utilizadas em um ambiente real. No entanto, os resultados dos ensaios de propriedades dinâmicas superaram os dados obtidos nos ensaios realizados em concreto convencional. A continuidade deste trabalho pode ser realizada através da realização de uma análise sísmica que pode lançar alguma luz sobre a aplicação deste material em elementos estruturais como fundações (Najim & Hall, 2012).

Pesquisas relacionadas a questões de durabilidade em concreto com adição de borracha concluíram que menor penetração de cloretos é obtida para 7,5% de adição. Em termos de ataque com ácido, foi observada uma diminuição no peso e na resistência à compressão. Por sua vez, a capacidade de dissipação de energia do concreto pode aumentar com a adição de borracha. Esta propriedade tem potencial aplicação em estruturas expostas a terremotos. Concluiu-se que a adição de borracha reduz a resposta às vibrações (Tomas et al., 2016).

A influência do tamanho das partículas na adição de borracha também foi investigada. Concluiu-se que a adição de borracha no concreto afeta a trabalhabilidade e a permeabilidade quando comparado a um concreto convencional. Especificamente, quanto maior o tamanho, melhoram as propriedades mencionadas acima. Uma investigação mais rigorosa pode ser feita para analisar a granulometria e determinar um tamanho de partícula ideal de borracha para melhores propriedades físicas em relação à norma ASTM C 33 que pode fornecer um parâmetro para uma aplicação de um ponto de vista mais técnico, bem como diretrizes para criar um sistema de projeto para misturas de concreto com adição de borracha (Youssif et al., 2014).

5. CONCLUSÃO

Este artigo teve como objetivo analisar os últimos 30 anos de pesquisa em borracha e sua aplicação em concretos estruturais e não estruturais por meio da análise *Methodi Ordinatio*. Uma revisão bibliográfica da literatura mostrou que, desde 2010, os cientistas consideram o impacto da poluição mundial causada por resíduos de pneus, o que leva a comunidade científica a encontrar uma forma de reduzi-la por meio do reaproveitamento.

Nesses 30 anos, foram publicados 967 documentos sobre o uso da borracha no concreto estrutural e não estrutural no período 1990-2020 e 1182 autores contribuíram sobre o assunto até o momento da redação de artigo com esse tema.

Diferentes propriedades têm sido estudadas, como resistência à compressão, volume de borracha nas misturas de concreto, bem como a granulometria das partículas de borracha e sua possível influência na resistência do concreto.

Atualmente, novos estudos revelam dados que vão servir em pesquisas futuras como o comportamento da interface borracha-cimento e o potencial que a borracha tem quando utilizada em materiais compósitos. Tudo isso abre uma nova etapa na pesquisa desse material para sua

aplicação direta em diferentes tipos de situações na indústria da construção.

De acordo com a análise da literatura, o concreto com adição de borracha apresenta menor resistência mecânica do que o concreto convencional e, também, a resistência mecânica diminui à medida que aumenta o volume de borracha na mistura do concreto, embora o potencial como adição em materiais compósitos mostre que a incorporação de borracha pode ser benéfico em aplicações estruturais. O uso de diferentes tamanhos de partículas na adição da borracha é um assunto que ainda requer um estudo mais aprofundado, uma vez que faltam dados conclusivos sobre a granulometria da adição e seu efeito no concreto. Atualmente, sabe-se teoricamente que o tamanho pode influenciar a resistência à compressão e a porosidade, porém, não existem tamanhos específicos que permitam um projeto padrão para misturas de concreto com adição de borracha.

Em um contexto global, pode-se observar que, de acordo com os dados analisados, desde 2010, o interesse dos pesquisadores em introduzir a borracha em aplicações na construção civil tem aumentado significativamente, a fim de reduzir a poluição em nível global. No entanto, ainda faltam regulamentações para seu uso em condições reais, como valores de granulometria e métodos de dosagem para esta adição específica, portanto, mais pesquisas devem ser realizadas sobre as características deste material para que possa ser regulamentado para seu uso apropriado.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Cátedra CONACYT Project número 746, do LNS Project número 202101008N e do projeto CONACYT Fronteras (2096029).

7. REFERÊNCIAS

- Al-Salem, S. M., Lettieri, P., Baeyens, J. (2009). *Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review*. Waste Management, 29(10), 2625–2643. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.06.004>
- Ataria, R. B., Wang, Y. C. (2019). *Bending and shear behaviour of two layer beams with one layer of rubber recycled aggregate concrete in tension*. Structures, 20, 214–225. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2019.03.014>
- Chen, Z., Li, L., Xiong, Z. (2019). *Investigation on the interfacial behaviour between the rubber-cement matrix of the rubberized concrete*. Journal of Cleaner Production, 209, 1354–1364. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.305>
- de Campos, E. A. R., Pagani, R. N., Resende, L. M., Pontes, J. (2018). *Construction and qualitative assessment of a bibliographic portfolio using the methodology*, Methodi Ordinatio. Scientometrics, 116(2), 815–842. <https://doi.org/10.1007/s11192-018-2798-3>
- Ghosh, S. K. (Ed.). (2019). *Waste Management and Resource Efficiency: Proceedings of 6th IconSWM 2016*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-7290-1>
- Najim, K. B., Hall, M. R. (2012). *Mechanical and dynamic properties of self-compacting crumb rubber modified concrete*. Construction and Building Materials, 27(1), 521–530. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.07.013>
- Onuaguluchi, O., Panesar, D. K. (2014). *Hardened properties of concrete mixtures containing pre-coated crumb rubber and silica fume*. Journal of Cleaner Production, 82, 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.068>
- Pagani, R. N., Kovalski, J. L., Resende, L. M. (2015a). *Methodi Ordinatio: A proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication*. Scientometrics, 105(3), 2109–2135. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1744-x>

- Pagani, R. N., Kovaleski, J. L., Resende, L. M. (2015b). *Methodi Ordinatio: A proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication*. *Scientometrics*, 105(3), 2109–2135. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1744-x>
- Pamplona Solis, B., Cruz Argüello, J. C., Gómez Barba, L., Gurrola, M. P., Zarhri, Z., Trejo Arroyo, D. L. (2019). *Bibliometric Analysis of the Mass Transport in a Gas Diffusion Layer in PEM Fuel Cells*. *Sustainability*, 11(23), 6682. <https://doi.org/10.3390/su11236682>
- Pelisser, F., Zavarise, N., Longo, T. A., Bernardin, A. M. (2011). *Concrete made with recycled tire rubber: Effect of alkaline activation and silica fume addition*. *Journal of Cleaner Production*, 19(6–7), 757–763. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.11.014>
- Perez, J. G. (2015). *Plan de Manejo de Neumáticos Usados de Desecho*. 79.
- Roychand, R., Gravina, R. J., Zhuge, Y., Ma, X., Youssf, O., Mills, J. E. (2020). *A comprehensive review on the mechanical properties of waste tire rubber concrete*. *Construction and Building Materials*, 237, 117651. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117651>
- Ruwona, W., Danha, G., Muzenda, E. (2019). *A Review on Material and Energy Recovery from Waste Tyres*. *Procedia Manufacturing*, 35, 216–222. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.05.029>
- Su, H., Yang, J., Ling, T.-C., Ghataora, G. S., Dirar, S. (2015a). *Properties of concrete prepared with waste tyre rubber particles of uniform and varying sizes*. *Journal of Cleaner Production*, 91, 288–296. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.022>
- Su, H., Yang, J., Ling, T.-C., Ghataora, G. S., Dirar, S. (2015b). *Properties of concrete prepared with waste tyre rubber particles of uniform and varying sizes*. *Journal of Cleaner Production*, 91, 288–296. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.022>
- Thomas, B. S., Gupta, R. C., Panicker, V. J. (2016). *Recycling of waste tire rubber as aggregate in concrete: Durability-related performance*. *Journal of Cleaner Production*, 112, 504–513. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.046>
- What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. (2019, January 7). *Green Growth Knowledge Platform*. <https://www.greengrowthknowledge.org/research/what-waste-20-global-snapshot-solid-waste-management-2050>
- Xue, J., Shinozuka, M. (2013). *Rubberized concrete: A green structural material with enhanced energy-dissipation capability*. *Construction and Building Materials*, 42, 196–204. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.01.005>
- Yang, Z., Ji, R., Liu, L., Wang, X., Zhang, Z. (2018). *Recycling of municipal solid waste incineration by-product for cement composites preparation*. *Construction and Building Materials*, 162, 794–801. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.081>
- Youssf, O., ElGawady, M. A., Mills, J. E., Ma, X. (2014). *An experimental investigation of crumb rubber concrete confined by fibre reinforced polymer tubes*. *Construction and Building Materials*, 53, 522–532. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.12.007>