



Campus São Mateus
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO



AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE PRODUTOS DE BASE CIMENTÍCIA: REVISÃO CRÍTICA E PERSPECTIVAS FUTURAS

Life cycle assessment of cement-based products: critical review and future perspectives

Evaluación del ciclo de vida de productos a base de cemento: revisión crítica y perspectivas futuras

Gabriel Lucena ^{1*}, Maria Luiza Araujo do Nascimento ², Giusilene Costa de Souza Pinho ³, & Flávio Mattos ⁴

^{1 2 3 4} Instituto Federal do Espírito Santo

^{1*} lucenagabriel0603@gmail.com ² maluarquiteturaurbanismo@gmail.com ³ giusilene.pinho@ifes.edu.br ⁴ flavio5seg@gmail.com

ARTIGO INFO.

Recebido: 06.02.2026

Aprovado: 23.05.2026

Disponibilizado: 16.06.2026

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação do ciclo de vida ou ACV; cimento; produtos cimentícios; resíduos.

KEYWORDS: Life cycle assessment or LCA; cement or cement products; waste or residue.

PALABRAS CLAVE: Evaluación del ciclo de vida o LCA; cemento o productos de cemento; residuos o desechos.

*Autor Correspondente: [Lucena, G.](mailto:lucenagabriel0603@gmail.com)

RESUMO

A indústria da construção civil exerce um impacto ambiental significativo, sendo responsável por parte do consumo global de matérias-primas e emissões de gases de efeito estufa, agravado pelo uso de cimento e energia demandada em sua fabricação. Tais situações impulsionam estudos para quantificar esses danos, consolidando a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) como ferramenta técnica fundamental para essa mensuração. Nesse sentido, este estudo apresenta uma revisão sistemática da literatura sobre a ACV aplicada a produtos cimentícios, conduzida sob o rigor do protocolo PRISMA. A pesquisa abrangeu as bases Scopus e Web of Science (2014-2025). Após aplicação de critérios de elegibilidade fundamentados nas diretrizes das normas NBR ISO 14040 e 14044, e descartar abordagens superficiais, o portfólio final foi composto por 69 artigos (03 revisões e 66 originais). Os resultados deste trabalho indicam predominância de pesquisas sobre concreto (84%), e que a principal categoria estudada foi "potencial de aquecimento global" (83%). Contudo, foi identificado lacunas críticas: 44% dos trabalhos omitiram os métodos de impacto. Por fim, verifica-se que embora a ACV seja uma ferramenta consolidada, a área demanda maior padronização metodológica, inclusão de indicadores socioeconômicos e o aprofundamento de análises de sensibilidade.

ABSTRACT

The construction industry has a significant environmental impact, accounting for a considerable portion of global raw material consumption and greenhouse gas emissions, a situation exacerbated by the intensive use of cement and the energy required for its production. These factors have driven studies aimed at quantifying such impacts, establishing Life Cycle Assessment (LCA) as a fundamental

technical tool for this measurement. In this regard, this study presents a systematic review of the literature on LCA applied to cementitious products, conducted in accordance with the PRISMA protocol. The research covered the Scopus and Web of Science databases (2014–2025). After applying eligibility criteria based on the guidelines of ISO 14040 and 14044, and discarding superficial approaches, the final portfolio consisted of 69 articles (3 reviews and 66 original studies). The results of this study indicate a predominance of research on concrete (84%), and the main category studied was "global warming potential" (83%). However, critical gaps were identified: 44% of the studies omitted impact methods, and 9% did not define the system boundaries. Finally, it is evident that although LCA is a well-established tool, the field requires greater methodological standardization, the inclusion of socioeconomic indicators, and more in-depth sensitivity analyses.

RESUMEN

El sector de la construcción tiene un impacto medioambiental significativo, ya que es responsable de una parte considerable del consumo mundial de materias primas y de las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que se ve agravado por el uso intensivo de cemento y la energía que requiere su fabricación. Estas circunstancias impulsan la realización de estudios para cuantificar dichos daños, consolidando la evaluación del ciclo de vida (ECV) como herramienta técnica fundamental para dicha medición. En este sentido, el presente estudio presenta una revisión sistemática de la bibliografía sobre la ACV aplicada a productos cementosos, realizada siguiendo el riguroso protocolo PRISMA. La investigación abarcó las bases de datos Scopus y Web of Science (2014-2025). Tras aplicar criterios de elegibilidad basados en las directrices de las normas ISO 14040 y 14044, y descartar los enfoques superficiales, la selección final quedó compuesta por 69 artículos (3 revisiones y 66 originales). Los resultados de este trabajo indican un predominio de las investigaciones sobre el hormigón (84 %), y la principal categoría estudiada fue el «potencial de calentamiento global» (83 %). Sin embargo, se identificaron lagunas críticas: el 44 % de los trabajos omitieron los métodos de impacto y el 9 % no definió los límites del sistema. Por último, se constata que, aunque el ACV es una herramienta consolidada, el área exige una mayor estandarización metodológica, la inclusión de indicadores socioeconómicos y la profundización de los análisis de sensibilidad.

INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é um dos setores que mais impactam o meio ambiente, sendo responsável por cerca de 37% das emissões globais de CO₂ relacionadas à energia e aos processos industriais (UNEP, 2022). Nesse contexto, o cimento, componente-chave da construção civil, responde por aproximadamente 7% das emissões globais de CO₂, evidenciando sua significativa contribuição dentro do setor (IEA, 2023).

A demanda de cimento vem crescendo ao longo do tempo (GCCA, 2021), impulsionada pela urbanização e pela expansão da infraestrutura em escala global. Essa projeção reforça a urgência de buscar alternativas mais sustentáveis, uma vez que o uso do cimento contribui significativamente para as emissões de CO₂ e outros impactos ambientais ao longo da cadeia da construção (Hossain & Poon, 2016).

No Brasil, a produção de cimento em 2024 atingiu 64,7 milhões de toneladas, um aumento de 3,9% em relação ao ano anterior (SNIC, 2024). Este crescimento no consumo de cimento pode ser justificado pela expansão de programas habitacionais, melhorias nas condições de trabalho e aumento da renda da população, que impulsionaram o setor imobiliário (SNIC, 2024).

Dessa maneira, esses fatores reforçam a importância de usar dados consistentes e metodologias reconhecidas para avaliar os impactos ambientais do concreto e de outros produtos cimentícios ao longo de seu ciclo de vida, cuja temática tem sido abordada em pesquisas recentes (Silva & Pereira, 2021; Xing et al., 2022; Kumar et al., 2023). Exemplos desses produtos cimentícios em destaque são: as argamassas, os blocos de vedação, os ladrilhos hidráulicos e as chapas cimentícias (Campos, 2023; ANF, 2024). Sendo componentes dos sistemas construtivos convencionais e industrializados, com aplicação em estruturas, revestimentos e fechamentos (Isaia, 2018; Li. et al, 2021).

Diante desse cenário na construção civil, torna-se fundamental promover inovações tecnológicas e estratégias voltadas à sustentabilidade, visando à mitigação dos impactos ambientais (Hasanbeigi, Price & Lin, 2012; Pomponi & Moncaster, 2017; Sharma & Jha, 2021). Como resultado, diversos estudos têm sido conduzidos com foco no desenvolvimento de produtos cimentícios mais sustentáveis, incluindo a incorporação de resíduos na matriz de cimento como forma de reduzir o consumo de matérias-primas virgens e os impactos ambientais associados. Soma-se a isso a ausência de estratégias eficazes de reciclagem e de gestão desses resíduos, intensificando o esgotamento das reservas naturais. Como consequência, esse cenário contribui diretamente para o agravamento da crise ambiental global (Bribián et al., 2011; George, Lin & Chen, 2015).

Com intuito de investigar quantitativamente o desempenho ambiental dos produtos e processos de forma sistemática e padronizada, a ACV surge como ferramenta valiosa, com diversos estudos realizados para produtos utilizados na construção civil (Barbhuiya & Das, 2023), em especial a produtos cimentícios (Manjunatha et al., 2021), visando quantificar e mitigar os impactos ao longo de toda a cadeia produtiva (Hossain & Poon, 2016; Hossain et al., 2018). Sendo possível compreender quais são os pontos críticos durante todo o processo de produção ou desmobilização, relacionados à extração da matéria-prima até a destinação final e descarte de resíduos (Caldas, 2021), avaliando o desempenho de cenários com enfoque circular.

Neste contexto, este estudo tem como objetivo produzir uma revisão sistemática da literatura sobre o uso da ferramenta ACV aplicada em produtos de base cimentícia na construção civil. A análise é orientada pelas estruturas da ACV estabelecidas nas normas NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044, que definem os princípios, estrutura e requisitos metodológicos. A partir do levantamento buscou-se identificar boas práticas existentes, desafios enfrentados, lacunas presentes nas diretrizes da ACV, bem como explorar recomendações para futuras pesquisas.

METODOLOGIA

Na seleção das pesquisas do portfólio bibliográfico, adotou-se a metodologia PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). O processo seguiu um protocolo estruturado e transparente, contemplando as etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos.

Inicialmente, os registros foram obtidos nas bases de dados (BD) e submetidos à remoção de duplicatas. Em seguida, realizou-se a triagem por meio da leitura de títulos e resumos, aplicando critérios de inclusão e exclusão previamente definidos. Os estudos potencialmente relevantes foram avaliados na íntegra quanto à sua elegibilidade, considerando sua aderência ao tema da pesquisa. Por fim, os artigos selecionados compuseram o portfólio final, sendo todo o processo documentado por meio de um diagrama de fluxo, conforme recomendado pelo PRISMA (Moher et al., 2009; Page et al., 2021).

A metodologia PRISMA é largamente reconhecida ao promover transparência e reprodutibilidade na seleção de estudos relevantes. O protocolo institui critérios claros para inclusão e exclusão de artigos, baseados nos objetivos da revisão (Page et al., 2021; Peters et al., 2015). Assim, a adoção do PRISMA como protocolo estruturado para revisões sistemáticas tem sido indicada para aumentar transparência e confiabilidade na seleção e análise dos estudos, minimizando vieses (Liberati et al., 2009; Peters et al., 2015; Page et al., 2021).

As BD Scopus e Web of Science (WoS) são largamente utilizadas em estudos de revisão bibliométrica, devido abrangência e qualidade dos dados (Baas et al., 2020; Assunção, 2023). Logo, adotou-se essas bases em função do reconhecimento científico, sendo definida, para garantir a reprodutibilidade, uma estratégia de busca estruturada com operadores booleanos, campos pesquisados (título, resumo e palavras-chave) e variações terminológicas.

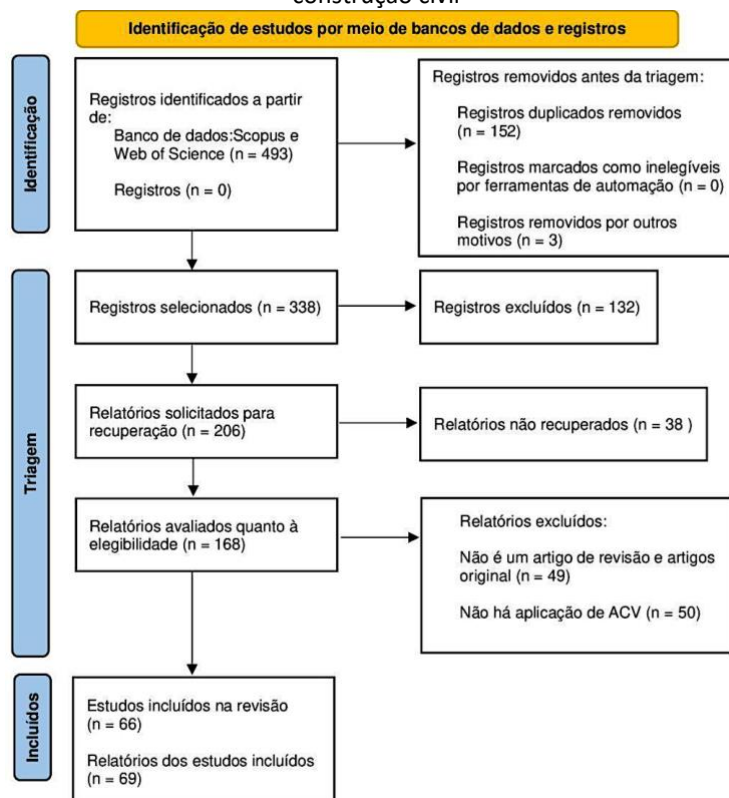
Inicialmente, uma pesquisa preliminar nas BD foi o ponto de partida para avaliar e testar a aderência das palavras-chave selecionadas e identificar termos correlatos alinhados ao escopo desta revisão sistemática sobre ACV de produtos cimentícios da construção civil. Dessa forma, para buscar a literatura pertinente nas BD com o objetivo de avaliar a aderência aos termos e identificar palavras-chave alinhadas ao escopo da revisão sistemática sobre Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) aplicada a produtos cimentícios. A estratégia de busca foi estruturada com operadores booleanos, utilizando a seguinte combinação: (“LCA” OR “life cycle”) AND (“cement” OR “cement products” OR “waste” OR “residue”).

As buscas foram aplicadas nos campos de título, resumo e palavras-chave, garantindo maior abrangência e reprodutibilidade dos resultados. A definição dessa string buscou contemplar tanto a terminologia técnica consolidada quanto variações recorrentes na literatura, assegurando a recuperação de estudos pertinentes ao tema.

Para garantir a relevância e a consistência metodológica dos estudos, foram aplicados filtros para “artigos” e “revisões”, considerando o período de 2014 a 2025. A delimitação temporal foi definida com base na consolidação recente das aplicações da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) no setor da construção civil, especialmente após a difusão de diretrizes internacionais e avanços normativos que impactaram diretamente a padronização dos estudos. Além disso, esse recorte permite captar a intensificação da produção científica na área, assegurando maior homogeneidade metodológica entre os estudos incluídos, conforme recomendado em revisões sistemáticas conduzidas sob a abordagem PRISMA.

Primeiro, foram identificados 493 registros nas BD Scopus e WoS. Após a remoção de 152 registros duplicados e 3 registros excluídos por outros motivos, permaneceram 338 estudos para a etapa de triagem. Na fase de triagem, 132 registros foram excluídos com base na leitura de títulos, resumos e palavras-chave, resultando em 206 relatórios solicitados para recuperação. Desses, 38 não foram recuperados, totalizando 168 relatórios avaliados quanto à elegibilidade. Na etapa de elegibilidade, 99 estudos foram excluídos, sendo 49 por não se caracterizarem como artigos de revisão ou artigos originais e 50 por não apresentarem aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Por fim, classificou-se 69 artigos (3 Revisões e 66 artigos originais) para compor o portfólio do estudo (Figura 1).

Figura 1. Metodologia utilizada para seleção das pesquisas de ACV para a gestão de produtos cimentícios da construção civil



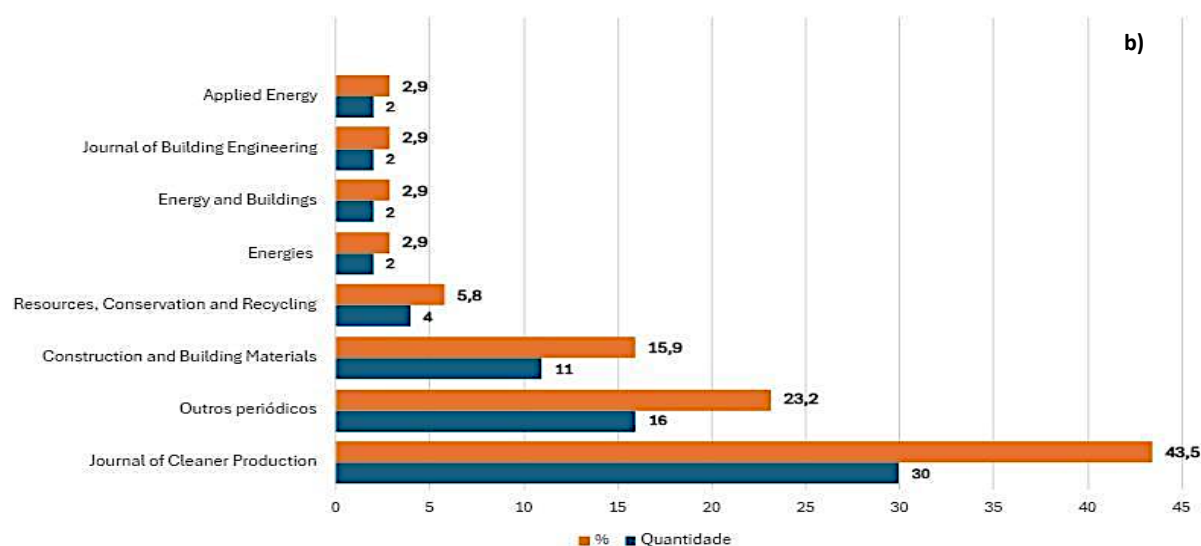
Fonte: Autores (2025).

Após a composição do portfólio, os 69 artigos selecionados (66 artigos originais e 3 revisões) foram organizados em planilha no software Excel e submetidos à leitura detalhada. A análise foi conduzida de forma quantitativa e qualitativa, seguindo um protocolo de extração e categorização de dados previamente definido, conforme as diretrizes do PRISMA 2020, com o objetivo de garantir a sistematicidade e reprodutibilidade do estudo.

O protocolo estabeleceu, a priori, os critérios de extração, contemplando informações relacionadas às características dos estudos, tais como objetivos da pesquisa, abordagens metodológicas da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), materiais analisados e categorias de impacto consideradas. Também foram definidos critérios de categorização dos resultados, com base nos cenários analisados e nas principais contribuições de impacto reportadas pelos estudos.

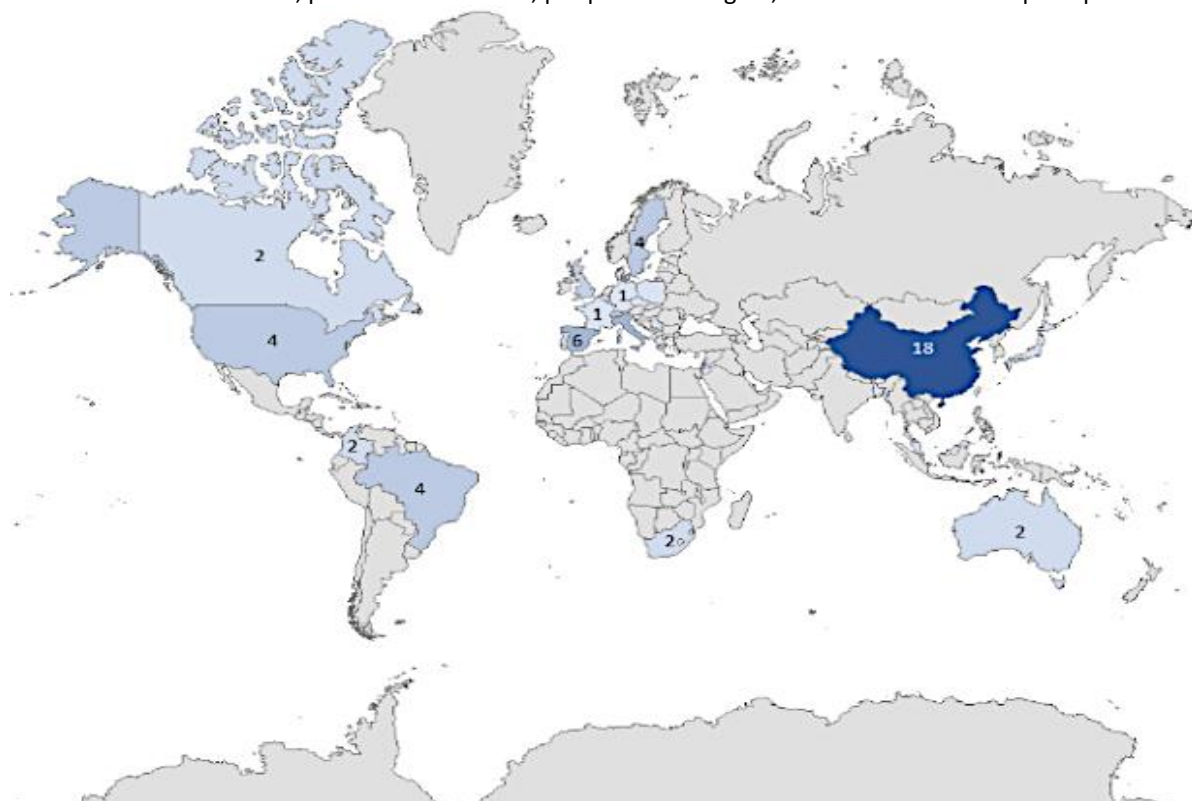
A análise da Economia Circular foi considerada como uma variável analítica prevista no protocolo, sendo identificada nos estudos a partir da presença de estratégias relacionadas à reutilização de materiais e à redução de resíduos, bem como de sua relação com os objetivos e resultados apresentados.

Periódicos



A China (18), Espanha (5), Itália (5), Brasil (4), Suíça (4) e Estados Unidos (4) foram os países com maior número de publicações na área. Existem muitos países que ainda estão com pouca representatividade em relação ao número de trabalhos publicados (Figura 4).

Figura 4. Distribuição geográfica e quantitativa dos principais estudos relacionados à ACV para gestão do resíduo cimentício, período 2014 a 2025, por países de origem, considerando o autor principal



Fonte: Autores (2025).

A Europa realizou 31 estudos entre 2014 e 2025. A Ásia com 20 trabalhos na área possui um expressivo número de países que já publicaram sobre o tema, sendo 18 especificamente na China. Na América do Norte, somam-se 6 trabalhos relativos aos Estados Unidos e ao Canadá. Enquanto na América do Sul, o Brasil aparece com 03 pesquisas e a Colômbia com 1 artigo. No continente africano, apenas a África do Sul com 2 artigos possui estudos na área. Na Oceania, há apenas 2 estudos, localizados na Austrália. É possível constatar que a ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) aplicada a produtos cimentícios está sendo amplamente utilizada em todo o mundo.

Revisão Bibliográfica Sistemática

Os 69 artigos selecionados para compor o portfólio bibliográfico deste estudo (66 originais e 3 de revisão) foram mapeados e analisados em profundidade. Nos artigos originais, os aspectos metodológicos da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) foram analisados com base nas normas NBR ISO 14040 (2006) e NBR ISO 14044 (2006). As análises seguem a estrutura das fases da ACV, abrangendo a definição do objetivo e escopo, a análise do inventário do ciclo de vida (ICV), a avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) e a fase de interpretação.

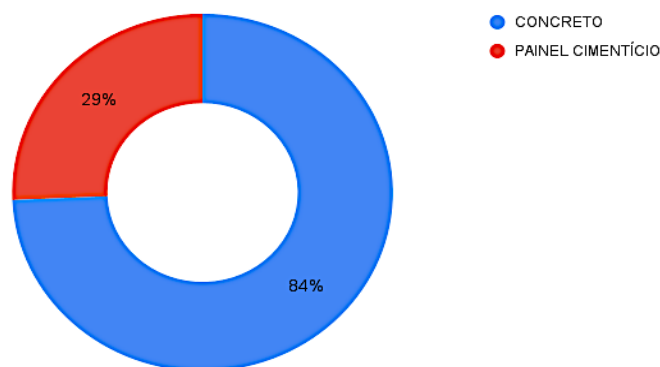
Definição do Objetivo e Escopo

O objetivo das pesquisas foi apresentado de forma coesa em todos 66 artigos originais analisados. 50% dos estudos dedicaram-se a investigar estratégias de gestão de resíduos (EGR), enquanto 37% agruparam-se na comparação entre produtos fabricados com materiais virgens e reciclados (PV x PR). Outros 9% exploraram exclusivamente a fabricação de produtos cimentícios com a incorporação de resíduos reciclados (PR) (Ige et al., 2022; Xing et al., 2022; Emanuelsson et al., 2023; Xing et al., 2023; Bertoldo et al., 2024; Wang et al., 2024).

Em função de diferentes abordagens das pesquisas, a consideração sobre as fronteiras do sistema nem sempre ocorreu da mesma forma. Para 77% das pesquisas a extensão do berço ao portão foi escolhida. 9% não deixaram claro o limite do sistema, apenas 8% foram do berço ao túmulo e os 6% restantes foram divididos entre do berço ao berço e do portão ao túmulo.

A partir dos 66 artigos, foi possível constatar que 32% conduziram uma ACV de produtos cimentícios sem incorporação de resíduos e dentro dos 68% dos produtos estudados que utilizaram resíduos, 13% dos trabalhos propuseram mais de uma aplicação para esses materiais. Sendo a incorporação de resíduos como matéria prima na produção de concreto (84%) e em painéis cimentícios (29%) (Figura 5).

Figura 5. Gráfico de incidência dos materiais cimentícios produzidos com incorporação de resíduos de madeira



Fonte: Autores (2025).

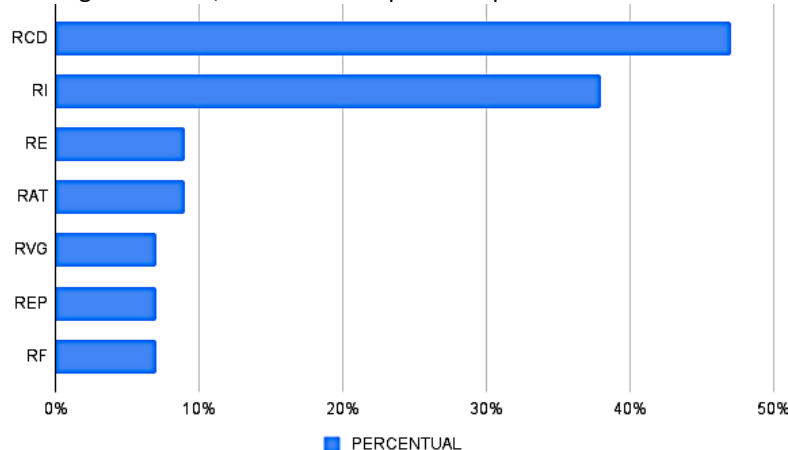
Cerca de 91% das pesquisas apresentaram o escopo de forma clara, instituindo os sistemas analisados, a unidade funcional e limites do sistema. Os 9% restantes, exibiram como deficitária a omissão da unidade funcional ou definição precisa das fronteiras do sistema estudado.

Um metro cúbico foi a unidade funcional mais presente, adotada por 41% dos 66 estudos analisados. Outros 26% utilizaram uma tonelada de resíduo. Outras unidades utilizadas foram o kg (11% das pesquisas revisadas) e m² (8%) (Melià et al., 2014; Condeixa et al., 2014; Hafliger et al., 2017; Amiansamhen et al., 2021; Lou et al., 2022). As demais (14%) adotaram unidades

variadas, como, distância de 1 km percorrido (Anastasiou et al., 2015), consumo de kWh (Dong et al., 2014) e nm^3 (metro cúbico normal), para avaliação da vazão de gases (Zhang, 2016).

Em relação a fonte dos resíduos analisados em estudos de ACV, 45 artigos trabalharam com a fabricação de produtos cimentícios e 17 deles apresentaram mais de uma origem de resíduos. Cita-se 47% empregando resíduos de construção e demolição (RCD), 38% resíduo industrial (RI), 9% resíduo do setor de energia (RE) e “outros”, como resíduos vegetais (RVG), em 7% dos artigos (Figura 6).

Figura 6. Origem dos resíduos considerados em estudos de ACV, a partir dos 45 trabalhos selecionados dos quais trabalharam com algum resíduo, considerando que 38% apresentaram resíduos de mais de uma origem



Fonte: Autores (2025). Nota: RCD - Resíduos de construção e demolição; RI - Resíduos industriais; RE - Resíduos de setor de energia; RVG - Resíduos vegetais; RAT - Resíduos de aterro; REP - Resíduos de perfuração, exploração e produção de poços de petróleo ou gás natural; RF - Resíduos sólidos.

Entre as pesquisas que utilizaram algum tipo de resíduo, 78% o empregaram como agregado para o produto cimentício, enquanto 22% utilizaram como material suplementar. Ainda nesse grupo, 11% (5) não especificaram o tipo de tratamento aplicado aos resíduos, enquanto dentro dos 89% (40) que especificam o tratamento, 70% relataram o uso de mais de um tratamento. Dentre esses, os tratamentos mecânicos foram os mais frequentes, destacando-se a trituração (40%), esmagamento (38%), peneiramento (35%) e secagem (18%).

Em relação ao uso das cinzas foi constatado que dos 66 trabalhos, 41% as incluíram em suas análises. Kurda et al. (2018) consideraram que o uso de cinzas volantes (CV) no concreto pode contribuir para a redução da energia incorporada (EE) e melhorar a resistência à penetração de íons cloreto (CIPR) ao longo do tempo. Uma outra aplicação foi na construção de pavimentos, onde as emissões foram significativamente reduzidas pelo uso de cinzas (Anastasiou et al., 2015). E 26% dos autores destinam os resíduos ao aterro (Pitre et al., 2024; Majumder et al., 2024; Álvarez et al., 2023; Xing et al., 2022; Hossain et al., 2021; Amiansamhen et al., 2021; Moreno-Juez et al., 2020; Quéheille et al., 2021; Marinkovic et al., 2021; Meglin, 2019; Hossain & Poon, 2018; Zhang & Mabee, 2016; Zhou, 2018; Gutiérrez, 2017; Prosman & Sacchi, 2017; Danthurebandara et al., 2015; Wang et al., 2017).

Os resíduos analisados eram majoritariamente vindos da construção civil e da indústria, 47% e 38% dos cenários, respectivamente. Apesar de a maioria dos estudos informar os tratamentos mecânicos aplicados aos resíduos, um percentual considerável, de 11%, não especificou esses procedimentos, o que compromete a transparência dos resultados. A análise atribucional foi a predominante dentre os estudos (44%), enquanto em apenas 27% dos estudos foi adotada a ACV consequential, refletindo a necessidade de mais estudos que avaliem os impactos ambientais a longo prazo.

Inventário Do Ciclo De Vida (ICV)

Cerca de 77% das pesquisas destacam a utilização de dados primários coletados e 23% não informa o uso deles. Em relação aos dados secundários, eles são oriundos majoritariamente do banco de dados Ecoinvent. Outros BD também foram utilizados, o *Children's Literature Comprehensive Database* (CLCD) e *European reference Life Cycle Database* (ELCD) (Hossain & Poon, 2018; Kurda et al., 2018; Hossain et al., 2021; Moreno-Juez et al., 2020; Hossain et al., 2022; Liu et al., 2024; Wang et al., 2024).

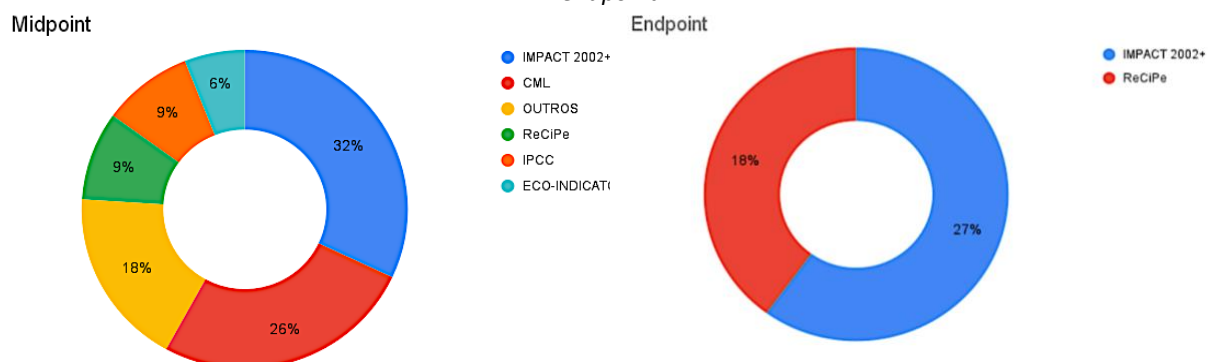
Avaliação d Interpretação do Impacto do Ciclo de Vida

O software mais usado nos estudos foi o SimaPro, estando presente em 45% das pesquisas, 12% usaram o Open LCA e 8% o GABI. 23% foram divididos em outros softwares como o TRACI, Green Concrete LCA e EBalance (Long et al., 2018; Wang et al., 2024). 12% dos trabalhos não explicitaram o software adotado, o que pode influenciar na replicabilidade dos resultados encontrados.

Foram adotadas categorias de *midpoint* em 39% dos trabalhos. 5% (Wang et al., 2024; Alkhawaldeh et al., 2024; Nezerka et al., 2023) adotaram somente *endpoint* e 12% usaram as duas categorias. Entretanto, 44% dos artigos analisados não especificaram como chegaram ao resultado do indicador apresentado.

Com os métodos de AICV, adotados nas pesquisas de ACV aplicadas ao uso dos resíduos, foi possível constatar que o IMPACT 2002+, com 32%, e o CML (Centro de Materiais e Meio Ambiente da Ecole Polytechnique de Montréal) com 26%, foram os métodos mais usados nas categorias de *midpoint* (Figura 7a). O CML foca em inventários do ciclo de vida com ênfase em categorias de impacto ambiental específicas, enquanto a IMPACT 2002+ integra avaliação de impacto ambiental com uma abordagem de caracterização e danos, conectando categorias de impacto intermediárias a danos finais. Dentro da abordagem *midpoint*, ainda se destacam o ReCiPe (9%), o IPCC e o Eco - Indicator com 9% e 6%, respectivamente. No grupo de artigos que utilizaram categorias de *endpoint* (Figura 7b), o IMPACT 2002+ também se destacou, sendo adotado por 27% dos 11 estudos revisados que apresentaram análise de *endpoint*.

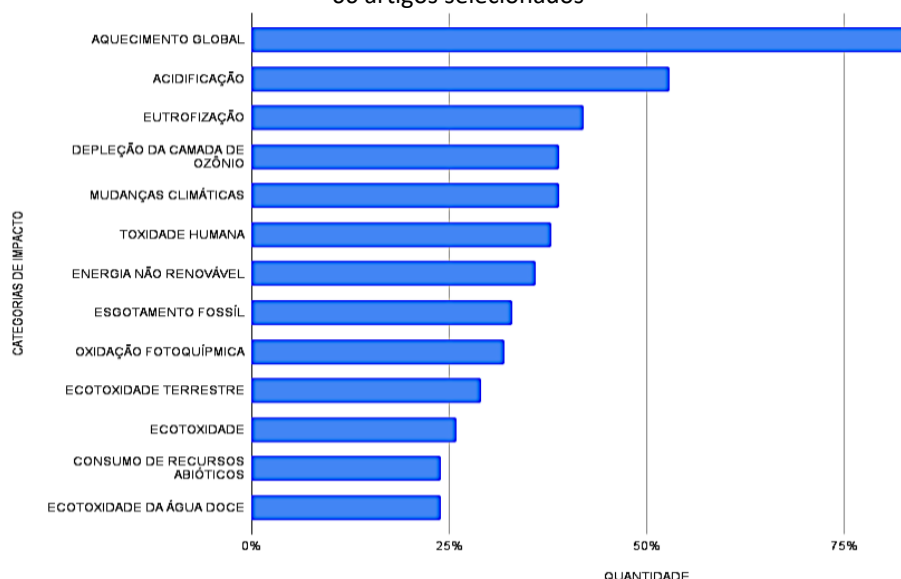
Figura 7. Metodologias de AICV aplicadas em estudos de ACV ao avaliar o desempenho ambiental quanto *mid* e *endpoint*



Fonte: Autores (2025). Nota: Alguns trabalhos utilizaram mais de uma metodologia. Um mesmo tipo de metodologia pôde ser encontrado em diferentes versões nas pesquisas mapeadas. E outras bases foram utilizadas na análise do *endpoint*, entretanto, havendo percentual igual ou inferior a 1% dos artigos revisados.

A Figura 8 a seguir mostra que 83% das pesquisas analisaram a categoria de "aquecimento global". Em seguida, "acidificação" com 53%, "eutrofização" com 42% e "depleção da camada de ozônio" com 39% também tiveram relevância, acompanhados por "toxicidade humana" e "mudanças climáticas" com 38%.

Figura 8. Categorias de impacto mais aplicadas em estudos de ACV para avaliar o desempenho ambiental dos 66 artigos selecionados



Fonte: Autores (2025). Nota: Outras categorias também foram estudadas com adesão menor que 24%.

Em torno de 29%, não deixaram claro se a análise foi conduzida como um estudo de ACV atribucional ou consequencial. A abordagem atribucional busca gerar informações sobre qual parte dos encargos globais podem estar vinculados a um produto e a consequencial é usada para fornecer informações sobre os encargos ambientais que decorrem, direta ou indiretamente, como consequência de uma decisão (UNEP-SETAC, 2011). Nas pesquisas que explicitaram o tipo de condução, 44% usaram a ACV atribucional. Apenas 27% utilizaram a ACV consequencial (Campo Gay et al., 2024; Wang et al., 2024; Liu et al., 2024), entre outros autores.

Cerca de 38% das pesquisas realizaram uma análise de sensibilidade e somente 29% apresentaram uma análise de incerteza. Esses itens são muito importantes para uma maior credibilidade dos estudos relacionados à ACV, devendo ser incluídos nos trabalhos, como recurso para aferir a consistência dos resultados. De acordo com Hossain e Poon (2018, p. 395), utiliza-se uma análise de sensibilidade para quantificar a incerteza associada às variações na análise dos resíduos, permitindo identificar como essas variações influenciam as emissões de gases de efeito estufa nos diferentes sistemas de gestão.

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

Os resultados alcançados foram interpretados à luz dos ODS, sendo um apelo global à ação para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade (ONU, 2015). Assim, verificou-se que as estratégias de gestão de resíduos (52%) e as comparações entre materiais virgens e reciclados (37%) impulsionam o ODS 12 ao promover substituição de insumos e práticas de produção mais responsáveis.

Também, a incorporação de resíduos em produtos cimentícios, com maior incidência em concreto (68%) e painéis cimentícios (22%), fortalece o ODS 9, por difundir rotas tecnológicas e soluções de infraestrutura de menor impacto. Ainda, as origens mais recorrentes dos resíduos foram as de construção e demolição (42%) e industriais (28%), dialogando com as metas ODS 11 (cidades sustentáveis) e ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis). Por fim, a categoria 'Aquecimento Global' foi a mais analisada (85%), ratificando a contribuição direta para o ODS 13 (Ação Climática).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo foi realizada uma revisão abrangente da literatura de trabalhos relacionados à ACV da fabricação de produtos de base cimentícia no período de 2014 a 2025. Os resultados bibliométricos contemplaram a evolução temporal dos trabalhos, o quantitativo de publicações, a distribuição geográfica e os periódicos que mais publicaram na área. Os países mais presentes nas publicações foram China, Espanha e Itália, considerando o autor principal. No ano de 2017 ocorreu o maior número de publicações e o periódico mais relevante foi o *Journal of Cleaner Production*.

Os trabalhos selecionados para compor o portfólio desta revisão foram examinados segundo a estrutura das normas NBR ISO 14040 (2006) e a NBR ISO 14044 (2006). Através desse mapeamento, foi possível constatar que nem todas as pesquisas apresentaram a mesma completude em relação à metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida. Desse modo, os estudos abordaram majoritariamente alternativas para gestão de resíduos (50%) e a comparação entre materiais virgens e reciclados (37%), evidenciando a preocupação com soluções ambientalmente sustentáveis. O concreto foi a aplicação mais estudada (84%), seguido pelos painéis cimentícios (29%).

A maior parte dos estudos (91%) definiu de maneira clara seus objetivos e escopos, mas 9% dos artigos apresentaram lacunas na delimitação das fronteiras do sistema. A unidade funcional mais utilizada foi o metro cúbico (m^3), presente em 41% dos artigos, seguido pela tonelada, em 26%, apresentando diferenças na medição quantitativa dos produtos analisados e consequentemente dos impactos ambientais causados.

O software mais utilizado foi o SimaPro, em 45% dos estudos, enquanto entre os métodos de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV), os mais aplicados foram IMPACT 2002+ e CML, em 32% e 26% dos artigos, respectivamente, priorizando categorias como aquecimento global (83%) e acidificação (53%). Contudo, 44% dos artigos não deixaram explícitos os métodos utilizados.

Foi possível observar que ainda existem lacunas nos estudos de ACV de produtos de base cimentícia para a construção civil. As pesquisas já realizadas se dedicaram majoritariamente a questões ambientais, sendo uma pequena parte de estudos que se voltaram para questões econômicas, ressaltando ainda, a lacuna existente no âmbito social. Por fim, a revisão crítica da literatura realizada, tendo como referência as normas ISO, permitiu identificar nos trabalhos uma série de pontos que necessitam de maior clareza ou de serem explicitados.

Em relação às perspectivas para futuros trabalhos, ressalta-se que é necessária uma padronização e transparência das pesquisas para que as mesmas possam ser replicadas em novos estudos. Somando-se a isso, nas bases pesquisadas, foi possível constatar exclusivamente ACV de aspectos ambientais, mas questões econômicas e sociais precisam ser consideradas para a tomada de decisão. Assim, futuros estudos devem aprofundar a análise englobando indicadores sociais e econômicos para uma visão mais holística da sustentabilidade.

Por fim, a pesquisa reforça a importância da ACV na avaliação ambiental de materiais de construção de base cimentícia, destacando a necessidade de maior padronização metodológica, ampliação de categorias de impacto estudadas e aprofundamento de análises de sensibilidade e incerteza. Isso contribuirá para a confiabilidade dos resultados e, por conseguinte, o desenvolvimento de estratégias mais eficazes para a sustentabilidade na construção civil.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT (2021). NBR ISO 14040:2021. Gestão Ambiental,

avaliação do ciclo de vida. Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT. (2021). NBR ISO 14044:2021. Gestão ambiental, avaliação do ciclo de vida. Requisitos e diretrizes. Rio de Janeiro, ABNT.

Alkhalwaldeh, N., Judah, H. I., Shammout, D. Z., Almomani, O. A., & Alkhalwaldeh, M. A. (2024). Sustainability evaluation and life cycle assessment of concretes including pozzolanic by-products and alkali-activated binders. *Journal of Building Engineering*, 96, 107351. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102569>

Álvarez, I. R., López, M. L., Pérez, A., Sánchez, F., & González J. (2023). Mechanical performance after high-temperature exposure and life cycle assessment (LCA) according to unit of stored energy of alternative mortars to Portland cement. *Constr Build Mater*, 365, 130082. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130082>

Amiansamhen, S., Savastano, H. Jr., Claramunt, J., & Ardanuy, M. (2021). Recycling sawmilling wood chips, biomass combustion residues, and tyre fibres into cement-bonded composites: properties of composites and life cycle analysis. *J Clean Prod.*, 315, 128210. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123781>

Anastasiou, A., Rojas-Sola, J. I., Hernández-Olivares, F., & Aranda-García, M. (2015). Comparative life cycle assessment of concrete road pavements using industrial by-products as alternative materials. *J Clean Prod.*, 103, 229-44. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.05.009>

Associação Nacional do Fibrocimento. ANF. (2024). O fibrocimento. ANF. Recuperado de <https://anfipro.org.br/o-fibrocimento/>

Baas, J. et al. (2020). Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source for academic research in quantitative science studies. *Quantitative Science Studies*, 1(1), 377-386. <https://doi.org/10.1162/qss.a.00019>

Barbhuiya, S. & Das, B. B. (2023). Life Cycle Assessment of construction materials: methodologies, applications and future directions for sustainable decision-making. *Case Studies in Construction Materials*, 19, e02326. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02326>

Bribián, I. Z., Uson, A., & Scheel, C. (2011). Life cycle assessment of building materials: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Building and Environment*, 46(5), 1133-40. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.002>

Caldas, L. R. et al. (2021). Environmental impact assessment of wood bio-concretes: evaluation of the influence of different supplementary cementitious materials. *Construction and Building Materials*, 268, 121173. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121173>

Campo, G. I., Hernández, A., López, J., & Martínez, P. (2024). A digital tool for life cycle assessment in construction projects. *Dev Built Environ.*, 20, 100535. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100535>

Castro, J. A. de. (2022). Investigação de ladrilhos hidráulicos sob a perspectiva ambiental: avaliação do ciclo de vida e contaminação ambiental. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). *Universidade Federal de Ouro Preto*, Ouro Preto. Recuperado de <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/16081>

Condeixa, D. S., Brito, J. de., Correia, J. R., & Ferreira, C. (2014). Life cycle impact assessment of masonry system as inner walls: a case study in Brazil. *J Clean Prod.*, 83, 98-109. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.113>

Costa, D. da., Silva, G. J. C., & Assunção, M. A. de. (2023). Scopus vs. Web of Science: uma avaliação comparativa das principais bases de dados para a pesquisa acadêmica. *Cadernos do FNDE*, 4(9), e0982. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10777653>

Danthurebandara, M. A., Zhang, Y., Greenberg, S., Fernando, S., & Kumar, S. (2015). Valorization of thermal treatment residues in enhanced landfill mining: environmental and economic evaluation. *J Clean Prod.*, 99, 275-85. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.021>

Dong, Y., Tam, V. W. Y., Li, Z., Zuo, J., & Shen, L. (2014). Substituting local data for overseas life cycle inventories - a case study of concrete products in Hong Kong. *J Clean Prod.*, 65, 71-8. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.005>

George, D. A. R., Lin, B. C., & Chen, Y. (2015). A circular economy model of economic growth. *Environmental Modelling & Software*, 73, 60-63. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.06.014>

Gutiérrez G. (2017). Improved selection of the functional unit in environmental impact assessment of cement. *J Clean Prod.*, 142, 1246-54. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.007>

Hafliger, S., Ingold, F., Ménard, Y., & Itten, R. (2017). Buildings environmental impacts' sensitivity related to LCA modelling choices of construction materials. *Build Environ.*, 115, 258-68. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.052>

Hasanbeigi, A., Price, L., & Lin, E. (2012). Emerging energy-efficiency and CO₂ emission-reduction technologies for cement and concrete production: a technical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 6220-6238. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.07.019>

Hossain, Md. U. & Poon, C. S. (2017). Comparative LCA of wood waste management strategies generated from building construction activities. *Journal of Cleaner Production*, 177, 387-97. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.233>

- Hossain, Md. U., Wang, L., Yu, I. K. M., Tsang, D. C. W., & Poon, C. S. (2018). Environmental and technical feasibility study of upcycling wood waste into cement-bonded particleboard. *Construction and Building Materials*, 173, 474-80. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.066>
- Hossain, Md. U., Xuan, D., NG, S. T., & Amor, B. (2021). Designing sustainable partition wall blocks using secondary materials: a life cycle assessment approach. *Journal of Building Engineering*, 43, 102519. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103035>
- Instituto Brasileiro do Concreto. IBRACON. (2018). Inovações tecnológicas no projeto, execução e controle do concreto: consumo de concreto pelas centrais dosadoras. Brasília: IBRACON. https://ibracon.org.br/site_revista/concreto_construcoes/pdfs/revista93.pdf
- Internacional Energy Agency - IEA, World Business Council for Sustainable Development, & Cement Sustainability Initiative - CSI. (2018). Technology Roadmap – Low-Carbon Transition in the Cement Industry. Paris / Genebra: IEA / WBCSD-CS.
- Isaia, G. C. (Org.). (2010). Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON.
- Kumar, A., Singh, R., & Patel, S. (2023). Sustainability assessment of cementitious materials: a comprehensive review. *Resources, Conservation and Recycling*, 188, 106582. https://doi.org/10.1007/978-981-95-2588-1_71
- Kurda, R., Jassem, M., Johar, W., & Bukhari, S. N. A. (2018). Optimizing recycled concrete containing high volume of fly ash in terms of the embodied energy and chloride ion resistance. *J Clean Prod.*, 184, 1022-32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.177>
- Li, X. J. et al. (2021). Using BIM to research carbon footprint during the materialization phase of prefabricated concrete buildings: a China study. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123454. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123454>
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clarke, M., Devereaux, P. J., Kleijnen, J., Moher, D., & PRISMA Group. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000100. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000100>
- Liu Z, Chen H, Wang Y, Li X, Zhang J. (2024). Mixture design and environmental impact analysis of cement-metakaolin-sugarcane bagasse ash ternary composite. *Constr Build Mater.*, 435, 136843. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136843>
- Long, W-J., Li, Q., Zhang, Y., Chen, H., & Wang, X. (2018). Performance enhancement and environmental impact of cement composites containing graphene oxide with recycled fine aggregates. *J Clean Prod.*, 172, 903-13. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.108>
- Lou, W., Liu, S., Hu, Y., Hu, D., Kow, K., Pang, C., & Li, B. (2022). Sustainable reuse of excavated soil and recycled concrete aggregate in manufacturing concrete blocks. *J Clean Prod.*, 361, 132350. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127917>
- Majumder, S. N., Islam, S. R., & Mutsuddy, R. (2024). Life cycle assessment and mechanical strength of cement composites with conventional and recycled fine aggregate. *Sustain Struct.*, 4(2), 52. <https://doi.org/10.54113/j.sust.2024.000052>
- Manjunatha, M., Preethi, S., Malingaraya, Mounika, H. G., Niveditha, K. N., & Ravi. (2021). Life cycle assessment (LCA) of concrete prepared with sustainable cement-based materials. *Materials Today: Proceedings*, 47(13), 3637-3644. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.248>
- Marinković, S., Ignjatović, I., Vukčević, M., Radonjanin, V., & Malešev, M. (2021). The role of service life in life cycle assessment of concrete structures. *J Clean Prod.*, 290, 125610. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125610>
- Meglin, R. (2019). Environmental assessment in the building materials industry: how are the results of life-cycle assessment (LCA) for concrete influenced by technology and regulations? *Environ Sci Technol.*, 53(2), 1007-15. <https://doi.org/10.18552/2019/IDSCMT5108>
- Mehta, P. K. & Monteiro, P. J. M. (2006). Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. 3. ed. New York: McGraw-Hill.
- Melià, P., Navarro, M., Cabeza, L. F., Castell, A., & Bartolí, E. (2014). Environmental impacts of natural and conventional building materials: a case study on earth plasters. *J Clean Prod.*, 72, 90-9. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.073>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & PRISMA Group. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2010.02.007>
- Monteiro, Silvio N. (2021). *Environmental assessment in concrete industries*. *Journal of Cleaner Production*, 281, 124489. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129516>
- Moreno-Juez, J., Esquinas, A., Gómez-Soberón, J. M., Corral-Higuera, R., Brito, J. de., Cabrera-Covarrubias, F., & Castaño-Tabares, J. O. (2020). Treatment of end-of-life concrete in an innovative heating-air classification system for circular cement-based products. *J Clean Prod.*, 270, 122411. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122411>
- Nežerka, V., Válek, J., Hrnčířová, K., Němeček, J., & Krivý, P. (2023). Recycling of fines from waste

concrete: development of lightweight masonry blocks and assessment of their environmental benefits. *J Clean Prod.*, 385, 135711. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135711>

Nguyen, L., Winnefeld, F., Becker, S., & Lura, P. (2018). Effects of composition and transportation logistics on environmental, energy and cost metrics for the production of alternative cementitious binders. *J Clean Prod.*, 185, 628-45. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.247>

Pan Y. (2016). Engineering, environmental and economic performance evaluation of high-gravity carbonation process for carbon capture and utilization. *J CO₂ Util.*, 16, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.103>

Passuelo, A., Fernández-Jiménez, A., Palomo, A., & Criado, M. (2017). Evaluation of the potential improvement in the environmental footprint of geopolymers using waste-derived activators. *J Clean Prod.*, 166, 680-9. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.007>

Page, M. J. et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, e372. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

Peters, M. D. J., Egger, M., Davey Smith, G., & Altman, D. G. (2015). Systematic reviews in health care: meta-analysis in context. 2. ed. London: *BMJ Publishing Group*. <https://doi.org/10.1002/9780470693926>

Pitre, V., La, H., & Bergerson J. A. (2024). Impacts of alternative fuel combustion in cement manufacturing: life cycle greenhouse gas, biogenic carbon, and criteria air contaminant emissions. *J Clean Prod.*, 475, 143717. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143717>

Pomponi, F. & Moncaster, A. (2017). Circular economy for the built environment: a research framework. *Journal of Cleaner Production*, 143, 710-718. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.055>

Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. PNUMA. (2024). Relatório anual do programa das Nações Unidas para o meio ambiente. Brasília: *ONU Brasil / PNUMA*.

Prosman E. & Sacchi, R. (2017). New environmental supplier selection criteria for circular supply chains: lessons from a consequential LCA study on waste recovery. *J Clean Prod.*, 140, 1056-67. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.134>

Quéheille E, Petit C, Reynaud E, Mouillet V, Faye S. (2021). Prospective life cycle assessment at early stage of product development: application to nickel slag valorization into cement for the construction sector. *Front Built Environ*, 7, 743948. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.743948>

Sambarato, L., Rossi, F., Bianchi, G., & Moretti, L. (2024). Environmental benchmarks for the European

cement industry. *Sustain Prod Consum*, 45, 429-49. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.01.020>

Sharma, R. & Jha, M. K. (2021). Sustainable construction materials and technologies: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 1-19. <https://doi.org/10.21276/saar/9788197355639>

Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. SNIC. (2024). Panorama da indústria do cimento 2023. São Paulo: *SNIC*. Recuperado de <https://www.snic.org.br/panorama>

United Nations Environment Programme. UNEP. (2022). 2022 Global Status Report for Buildings and Construction: towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector. Nairobi: *UNEP*. Recuperado de <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/41133>

Wang, T., Wang, J., Wu, P., Wang, J., He, Q., & Wang, X. (2017). Estimating the environmental costs and benefits of demolition waste using life cycle assessment and willingness-to-pay: a case study in Shenzhen. *Waste Manag.*, 65, 498-507. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.168>

Wang, Y., Li, Q., Zhang, H., Chen, J., Zhou, L. (2024). Conceptual design and life-cycle environmental and economic assessment of low-carbon cement manufacturing processes. *J Clean Prod*, 314, 143349. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143349>

World Business Council for Sustainable Development WBCSD. (2023). Net-Zero Challenge 2023. Genebra: *WBCSD*. 80 p.

Xing, W., Li, Q., Zhang, Y., Chen, H., & Wang, X. (2022). Life cycle assessment of recycled aggregate concrete on its environmental impacts: a critical review. *Constr. Build Mater*, 317, 125950. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125950>

Xing, W., Tam, V. W. Y., Le, K. N., Hao, J. L., & Wang, J. (2022). Life cycle assessment of recycled aggregate concrete on its environmental impacts: a critical review. *Construction and Building Materials*, 317, 125950. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125950>

Zhang, L. (2016). Life cycle assessment of power-to-gas: approaches, system variations and their environmental implications. *J Clean Prod.*, 139, 1326-35. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.098>

Zhang, L. & Mabee, W. E. (2016). Comparative study on the life-cycle greenhouse gas emissions of the utilization of potential low carbon fuels for the cement industry. *Environ Sci Technol*, 50(8), 4219-26. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.019>

Zhou, Z. (2018). Comparative environmental life cycle assessment of fiber reinforced cement panel between kenaf and glass fibers. *J Clean Prod.*, 172, 2992-3000. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.200>