

RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM POTENCIAL SUSTENTÁVEL PARA A FERTILIZAÇÃO

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.8.25.VII-011>

Laís Fernanda Juchem do Nascimento (*), Joel Gustavo Teleken, Fabiano Bisinella Scheufele

Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharias e Exatas, Palotina, Brasil
(laisfjuchem@gmail.com)*

RESUMO

Este trabalho apresenta uma revisão sistemática sobre o uso de resíduos da construção civil em concretos ecológicos com propriedades fertilizantes de liberação controlada. A pesquisa foi conduzida na base ScienceDirect, com recorte temporal entre 2019 e 2025, adotando a estrutura metodológica do modelo PICO. A triagem envolveu leitura criteriosa de resumos e aplicação de critérios de elegibilidade direcionados a artigos que abordassem simultaneamente desempenho mecânico axial, eficiência na liberação de nutrientes e suporte ao crescimento vegetal. Os dados foram organizados conforme faixas de resistência à compressão (<10 MPa, 10–20 MPa e >20 MPa) e analisaram-se variáveis como pH, porosidade, compostos de hidratação e desempenho agrônômico. As formulações investigadas incorporam resíduos como biochar, opoka, conchas de ostra, cimento sulfoaluminoso e fertilizantes encapsulados, visando integrar funções estruturais e ecológicas na matriz cimentícia. Os estudos indicam que características como alcalinidade e porosidade influenciam diretamente a retenção de umidade, a biodisponibilidade de nutrientes e o enraizamento. Ainda, observou-se escassez de abordagens que combinem desempenho estrutural, fertilizante e ambiental de forma integrada. Ressalta-se que a aplicação de cada formulação deve ser orientada por sua função na engenharia, com adequação a encostas, taludes, pavimentos drenantes e zonas de transição solo-água. Nesse cenário, os concretos ecológicos despontam como alternativa viável à infraestrutura sustentável, com contribuições relevantes à economia circular e alinhamento às metas dos ODS 11, 12 e 13.

PALAVRAS-CHAVE: Eco-concreto, liberação controlada, biochar, sustentabilidade urbana, economia circular.

ABSTRACT

This study presents a systematic review on the use of construction and demolition waste in eco-friendly concrete formulations with controlled-release fertilizing properties. The research was conducted using the ScienceDirect database, covering publications from 2019 to 2025, and structured according to the PICO methodological framework. The selection process included a detailed screening of abstracts and eligibility criteria focused on studies addressing axial compressive strength, nutrient release efficiency, and plant growth support. Data were organized by compressive strength categories (<10 MPa, 10–20 MPa, and >20 MPa), and variables such as pH, porosity, hydration compounds, and agronomic performance were analyzed. The reviewed formulations incorporated materials such as biochar, opoka, oyster shells, sulfoaluminate cement, and encapsulated fertilizers, aiming to integrate structural and ecological functions into the cement matrix. The findings indicate that alkalinity and porosity significantly influence moisture retention, nutrient availability, and root development. Few studies were found to address structural, fertilizing, and environmental performance in an integrated manner. Each formulation should be selected based on its specific engineering function, with applications suited for slopes, embankments, permeable pavements, and soil–water transition zones. In this context, eco-concretes emerge as a viable alternative for sustainable infrastructure, contributing to circular economy practices and aligning with SDGs 11, 12, and 13.

KEY WORDS: Eco-concrete, controlled release, biochar, urban sustainability, circular economy.

INTRODUÇÃO

O concreto ecológico vem se consolidando como uma nova geração de materiais cimentícios, projetados não apenas para atender às exigências estruturais das construções, mas também para oferecer benefícios ambientais significativos.

Sua estrutura porosa permite a infiltração de água, facilita o crescimento das raízes e cria ambientes favoráveis para a fixação de microrganismos que formam biofilmes. Esses biofilmes, por sua vez, atuam de forma ativa na degradação de poluentes orgânicos e inorgânicos como em Azad, Sheikh e Hai (2024), tornando esse tipo de concreto especialmente valioso para a restauração de áreas ribeirinhas, encostas e zonas de transição entre solo e água, onde os impactos da urbanização tendem a ser mais severos (SUN et al., 2021).

Além de favorecer a recuperação de ambientes degradados, o concreto ecológico também surge como uma alternativa essencial diante dos desafios ambientais que envolvem a indústria da construção. Como um dos maiores emissores de carbono do mundo, o setor vem sendo pressionado a adotar práticas mais sustentáveis e a desenvolver materiais que aliem funcionalidade estrutural com menor impacto ambiental (JALAEI; MASOUDI; GUEST, 2022). Nesse cenário, o estudo deste concreto tem ganhado destaque por sua capacidade de permitir que a água da chuva infiltre no solo, contribuindo para a recarga de aquíferos, reduzindo o escoamento superficial e minimizando enchentes em áreas urbanas. Essa característica também ajuda a equilibrar o microclima, ao mitigar o efeito de ilha de calor, comum em regiões densamente pavimentadas. Assim, mais do que um avanço técnico, o uso do concreto ecológico com fertilização lenta representa uma mudança de paradigma: de uma infraestrutura impermeável e rígida para uma viva, integrada ao funcionamento dos sistemas naturais (SHMLLS, et al., 2023; SHAN; SUN, 2021; CHEN et al., 2022).

Diversas estratégias têm sido desenvolvidas para ampliar esse potencial. A introdução de fertilizantes de liberação lenta, agregados ativados, biochar e aditivos naturais como quitosana têm demonstrado efeitos positivos na regulação do pH, na retenção de umidade e na disponibilidade de nutrientes essenciais para o desenvolvimento vegetal. Além disso, o uso de resíduos sólidos industriais como substituintes parciais do cimento tradicional contribui para reduzir a pegada de carbono e promover uma maior circularidade dos materiais (LEI et al., 2022 ; HUANG et al., 2024). Apesar desses avanços, muitos dos estudos realizados até o momento priorizam melhorias pontuais, focando em um ou dois aspectos, como resistência mecânica ou eficiência na permeabilidade, o que limita a compreensão do desempenho global do material.

A incorporação de resíduos recicláveis na formulação de concretos ecológicos representa uma resposta técnica e normativa às exigências estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, que disciplina a gestão de resíduos da construção civil, com ênfase na mitigação de impactos ambientais e na valorização de subprodutos como insumos reutilizáveis. Ao integrar materiais como agregados reciclados, pozolanas alternativas, cinzas industriais e demais resíduos classificados nas classes A e B, o concreto ecológico contribui não apenas para a redução da sobrecarga sobre os sistemas de disposição final, mas também para o avanço de práticas construtivas alinhadas aos princípios da economia circular. Essa abordagem tecnológica confere ao concreto uma dupla funcionalidade: manter desempenho técnico compatível com aplicações urbanas e, ao mesmo tempo, atender a critérios de responsabilidade ambiental e conformidade regulatória.

Diante do exposto, observa-se uma lacuna significativa na literatura quanto ao desenvolvimento de concretos ecológicos que integrem, de forma equilibrada, desempenho mecânico, suporte à vegetação e capacidade de remediação ambiental. A maioria dos estudos ainda aborda essas funções de maneira isolada, sem explorar sua interação sinérgica. Superar essa limitação requer uma abordagem interdisciplinar, que articule conhecimentos em ciência dos materiais, engenharia civil, ecologia e química ambiental, visando o avanço de composições cimentícias multifuncionais, capazes de atender às exigências técnicas e ecológicas das infraestruturas sustentáveis contemporâneas.

OBJETIVO

O objetivo principal deste estudo é realizar uma revisão sistemática sobre o uso de resíduos como fertilizantes de liberação controlada, com foco em identificar soluções capazes de otimizar a retenção e a liberação de nutrientes e resistência mecânica. Valorizar os resíduos da construção civil como insumos alternativos e promover práticas sustentáveis no uso de recursos e relacionar os desdobramentos ambientais e produtivos dessa abordagem aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

METODOLOGIA

Esta pesquisa realiza uma seleção e análise exploratória de artigos internacionais sobre concretos ecológicos como fertilizantes de liberação controlada, garantindo relevância científica na interseção entre engenharia de materiais e fertilização sustentável. A busca foi conduzida na plataforma *ScienceDirect*, considerando estudos publicados entre

2019 e 2025. A triagem envolveu leitura de resumos e aplicação de critérios específicos, incluindo propriedades estruturais do concreto, impacto no crescimento vegetal e dinâmica da liberação de fertilizantes. A estrutura metodológica segue o modelo PICO, onde a População (P) abrange solos e concretos formulados com resíduos, a Intervenção (I) consiste na aplicação desses resíduos como fertilizantes de liberação lenta, enquanto a Comparação (C) avalia a resistência axial à compressão, categorizada em três grupos (>10 MPa, 10-20 MPa e <20 MPa). Por fim, os Resultados (O) analisam parâmetros essenciais, como pH, porosidade, compostos de hidratação, desempenho vegetativo, nutrientes liberados e potenciais aplicações desses concretos na agricultura regenerativa e infraestrutura verde (Figura 01).

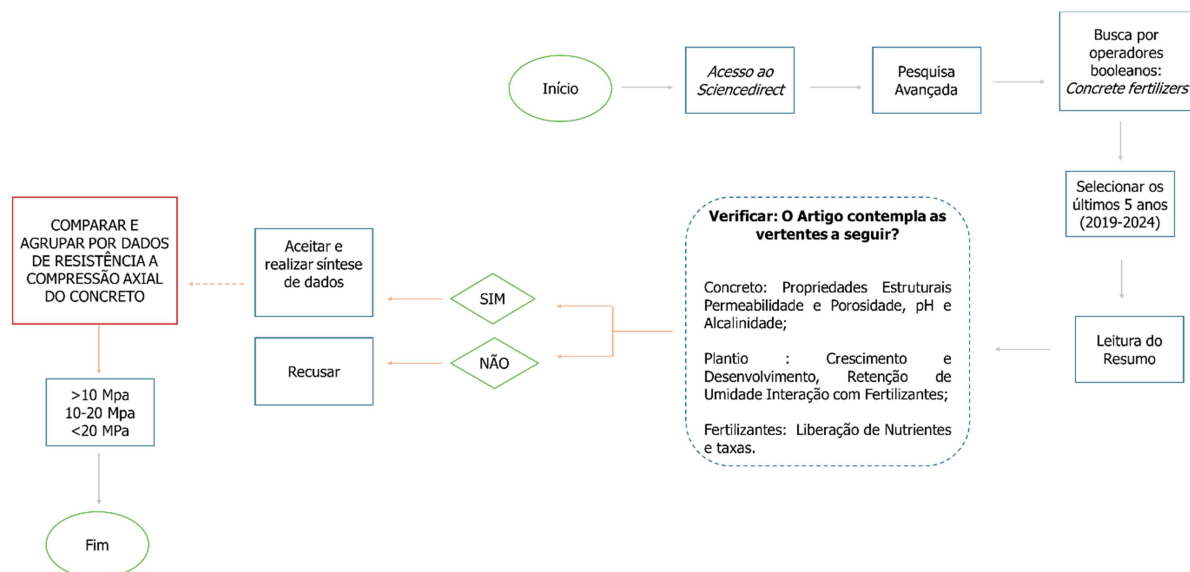


Figura 01. Fluxo de seleção e análise de artigos sobre concretos ecológicos e fertilizantes para este estudo.
Fonte: A autora (2025).

Em etapa posterior, os resultados obtidos foram tecnicamente associados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), considerando suas implicações para produção responsável, gestão de resíduos e soluções climáticas baseadas em materiais.

RESULTADOS

A interação entre a matriz cimentícia e os materiais incorporados afetam diretamente a retenção hídrica, a porosidade e a disponibilidade de nutrientes essenciais ao crescimento das plantas. A utilização de agregados reciclados, subprodutos industriais e resíduos agrícolas melhora essas propriedades, reduz impactos ambientais e amplia a funcionalidade do material (HUANG et al., 2024; JIN et al., 2024; LEI et al., 2022).

A regulação do pH é fundamental para o crescimento vegetal em substratos cimentícios, pois o cimento Portland convencional apresenta pH acima de 12, prejudicando a germinação e o crescimento radicular, devido à limitação da biodisponibilidade de nutrientes essenciais, como ferro (Fe), manganês (Mn) e fósforo (P), os quais precipitam em formas insolúveis em meios altamente alcalinos. Para mitigar esse efeito, modificações na matriz cimentícia são estudadas, como: o uso de bentonita (10%) que reduz a alcalinidade para pH 10,95, ao mesmo tempo em que melhora a retenção de umidade e adsorção de cátions, favorecendo a absorção de nutrientes (LI et al. 2023); e fertilizantes de liberação controlada, como a Isobutilideno Diureia, promovem uma acidificação progressiva, reduzindo o pH para 8,23, o que melhora a disponibilidade de nitrogênio e otimiza o processo fotossintético das plantas (LEI et al., 2022).

A porosidade do concreto é um fator essencial para equilibrar suporte estrutural e nutrição vegetal, pois influencia diretamente a retenção de água e a disponibilidade de nutrientes. Niu et al. (2025) relataram que agregados leves feitos com cinzas aglomeradas possuem poros interconectados, o que melhora a infiltração e armazenamento de água. A introdução de 2% a 4% de ureia nesses agregados permitiu um controle mais eficiente na liberação de nitrogênio, garantindo um suprimento contínuo e reduzindo a lixiviação excessiva.

De acordo com Jin et al. (2024), a porosidade dos agregados impacta diretamente as propriedades do concreto em que poros acima de 100 nm favorecem a absorção inicial de água, facilitando a irrigação e promovendo a umidade superficial necessária para a germinação de sementes, já abaixo de 100 nm contribuem para a retenção de umidade a longo prazo. Wu et al. (2023) investigaram um eco-concreto sustentável com materiais cimentícios de baixa alcalinidade adição de ganga de carvão auto-ignicionados triturados a (10–15 mm) e encontraram a um coeficiente de permeabilidade à água superior a 10 mm.s^{-1} e porosidade variando entre 25% e 38%, fatores que favorecem a retenção de umidade, o crescimento vegetal e a autoliberação gradual de fósforo (P), tornando-o uma alternativa promissora para aplicações ecológicas.

Ainda, como em estudos de Huang et al., (2024) ao incorporar quitosana e biochar em resíduos de concreto, verificaram que a uma porosidade de 29,63% ocorreu a troca de nutrientes entre o solo e a água, promovendo um ambiente rico para a proliferação de microrganismos benéficos. Zhao et al. (2020), ao analisarem os efeitos do biochar na porosidade, permeabilidade e crescimento de gramíneas em concreto de vegetação, observaram que a adição de 5 kg.m^{-3} de biochar (rico em N, P, K, O, H) promoveu o preenchimento dos poros do concreto, resultando no aumento da resistência à compressão e na redução da permeabilidade e porosidade (24,9%). No entanto, embora a adição tenha favorecido o desenvolvimento radicular, esse efeito foi limitado por um ponto ótimo.

Neste mesmo contexto, os estudos apresentaram bons índices de liberação de nutrientes de maneira controlada de: nitrogênio essencial para o crescimento vegetal, podendo ser liberado de forma controlada por meio da ureia encapsulada em agregados leves (NIU et al., 2025) ou do uso de isobutilideno diureia e favoreceu o crescimento de *Euonymus fortunei* em solos pobres de encostas (LEI et al., 2022); húmicas e fósforo (P) como estudado por Turek-Szytow et al. (2024) com resíduos de concreto autoclavado aerado e opoka na sorção e liberação controlada de substâncias a partir de rejeitos líquidos de estações de tratamento de esgoto, no qual esse apresentou uma capacidade de sorção de 200 mg g^{-1} , enquanto a sorção de ortofosfatos foi moderada (cerca de 40 mg de fósforo por grama de material) sendo uma proporção equilibrada de formas iônicas e uma condutividade reduzida, melhorando a estabilidade química e a fitotoxicidade dos materiais aplicados em sistemas hidropônicos.; além de manter um ambiente equilibrado para a proliferação de microrganismos benéficos e retenção de umidade. Embora em estudos tenham sido detectadas concentrações de As, Hg, Cd Cu, Ni, Pb e Zn, todos os valores permaneceram dentro dos limites regulamentares (TUREK-SZYTOW et al., 2024; ZHAO et al., 2020).

A comparação entre diferentes formulações de concretos ecológicos quanto aos principais parâmetros funcionais — como resistência à compressão, pH, porosidade, liberação de nutrientes e aplicabilidade vegetal — pode ser visualizada na Figura 02, por meio de um gráfico radar construído com dados normalizados de nove estudos experimentais recentes.

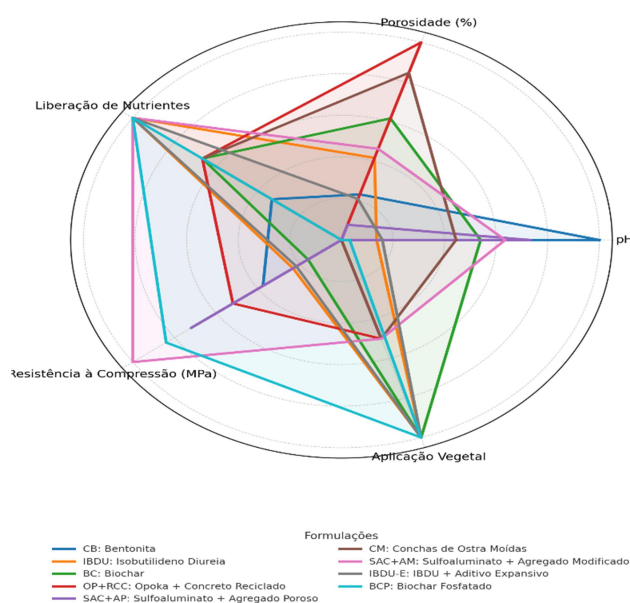


Figura 02. Gráfico Radar do Desempenho Comparativo de Concretos Ecológicos dos artigos compilados desse estudo. Fonte: Organizado autora (2025) (Zhao et al., 2019; Huang et al., 2024; Lei et al., 2022; Wu et al., 2023; Horiguchi et al., 2021; Turek-Szytow et al., 2024; Jin et al., 2024; Li et al., 2023; Niu et al., 2025; Bibi et al., 2020).

Com base na Figura 02, observa-se o potencial dos concretos ecológicos como compósitos multifuncionais aplicáveis a diferentes contextos de engenharia ambiental. Formulações com biochar fosfatado (HUANG *et al.*, 2024) e *Isobutilideno Diureia* com aditivo expansivo (LEI *et al.*, 2022) demonstram elevada sinergia entre estabilidade química, liberação gradual de nutrientes e compatibilidade vegetal, sendo recomendadas para encostas revegetadas e áreas degradadas. Concretos com cimento sulfoaluminoso e agregados modificados (LI *et al.*, 2023), bem como formulações com opoka e resíduos de concreto (TUREK-SZYTOW *et al.*, 2024), destacam-se pela resistência mecânica, adequando-se a intervenções estruturais como taludes. Por fim, misturas com conchas de ostra (HORIGUCHI *et al.*, 2021) e agregados reciclados porosos (JIN *et al.*, 2024) apresentam elevada porosidade e desempenho hídrico, sendo indicadas para zonas ripárias e interfaces solo-vegetação. Esses resultados reforçam a importância de adequar cada formulação à sua finalidade técnica, maximizando benefícios estruturais e ecológicos.

Importante salientar que em estudos como este é importante o estudo da matriz cimentícia para suas possíveis aplicações e reuso. Nela são formados compostos como o silicato de cálcio hidratado (C-S-H), que confere resistência e coesão estrutural; o hidróxido de cálcio (CH), responsável pela alcalinidade; a etringita e o monossulfoaluminato, derivados da reação do aluminato tricálcico com sulfatos; além de compostos secundários, como ferroaluminatos hidratados. Associado a isso o desempenho mecânico dos concretos ecológicos como fertilizantes precisa ser equilibrado para manter resistência estrutural e suporte ecológico as plantas. Li *et al.* (2023) registraram que a substituição parcial por bentonita permitiu atingir 39,3 MPa em um dia e 47,0 MPa na cura final, demonstrando alta resistência inicial sem comprometer a retenção hídrica. Por outro lado, Huang *et al.* (2024) relataram que concretos contendo 6% de quitosana e biochar alcançaram 14,05 MPa aos 28 dias de cura, evidenciando que altos teores de porosidade podem coexistir com estabilidade estrutural, devido aos compostos de hidratação do concreto. Já Lei *et al.* (2022) encontraram uma resistência de 8,42 MPa com permeabilidade controlada, reduzindo perdas excessivas de nutrientes e otimizando a disponibilidade agrônômica do compósito (Figura 03).

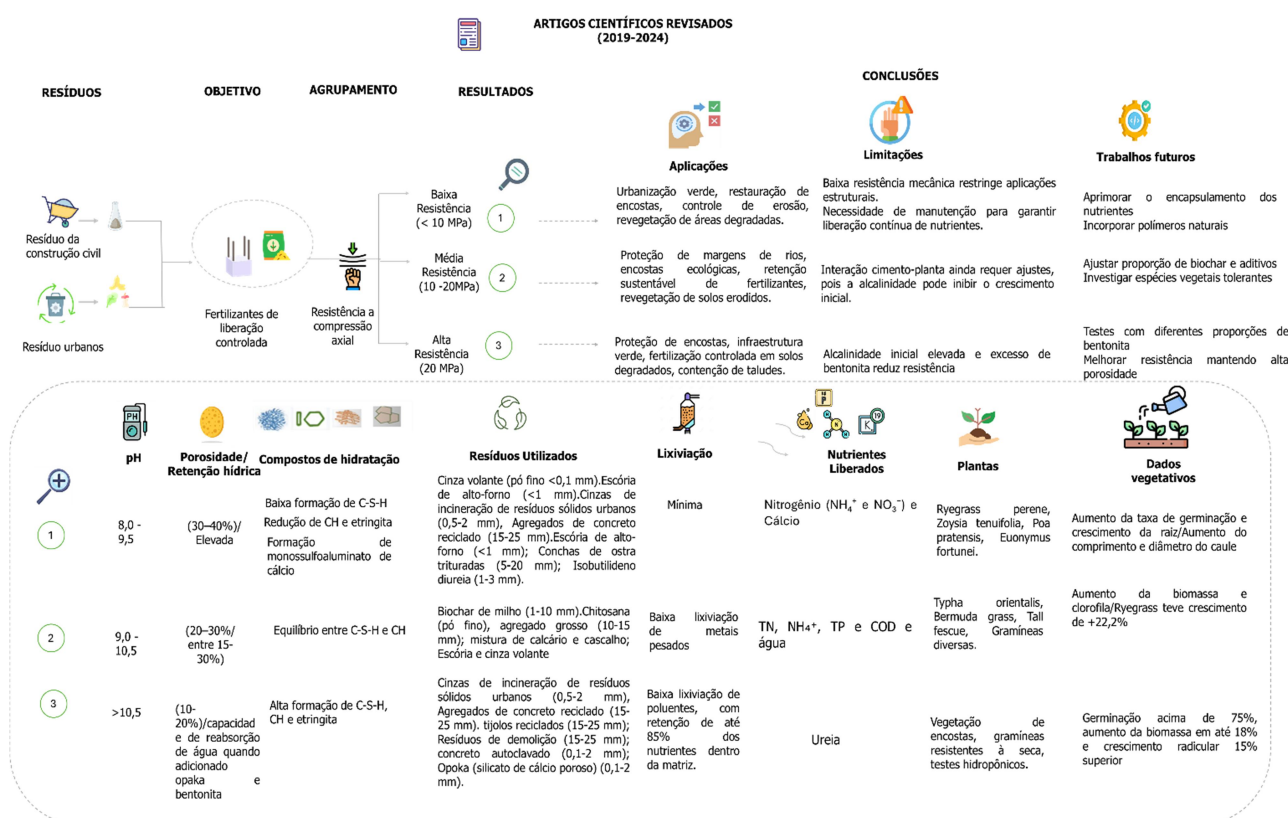


Figura 03- Resumo: classificação dos Concretos Ecológicos por Resistência à Compressão, Desempenho Agrônômico e Aplicações na Engenharia versus agricultura

Fonte: Organizado pela Autora (2025):Huang *et al.* (2024); Li *et al.* (2023); Niu *et al.* (2025); Lei *et al.* (2022); Turek-Szytow *et al.* (2024); Zhao *et al.* (2019); e Wu *et al.* (2023) e outros autores compilados neste estudo.

A análise técnica das formulações de concretos ecológicos evidencia uma contribuição objetiva a três Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. O ODS 11 é atendido pela aplicação desses materiais em infraestrutura verde, promovendo cidades mais resilientes e ambientalmente integradas. O ODS 12 se reflete na incorporação de resíduos sólidos como insumos, consolidando práticas de economia circular e uso responsável de recursos. Já o ODS 13 é contemplado pela substituição parcial do cimento tradicional por ligantes de menor emissão de carbono, contribuindo diretamente para a mitigação das mudanças climáticas. Esses alinhamentos confirmam o potencial do concreto ecológico como solução técnica coerente com as metas globais de sustentabilidade (Figura 04).

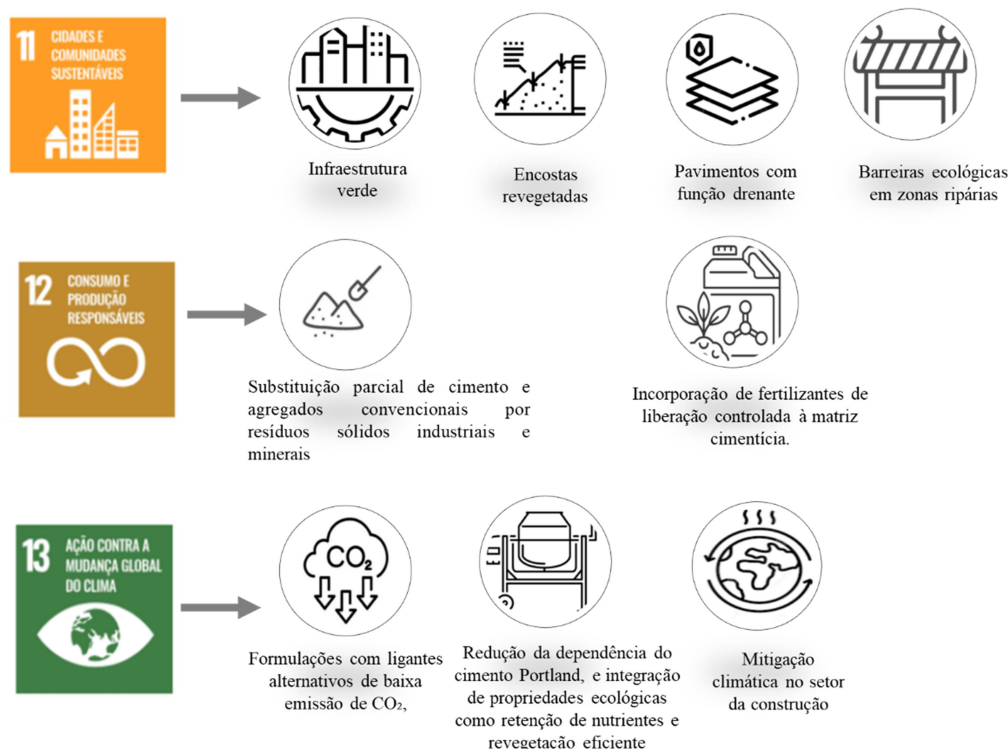


Figura 04- Contribuições dos Concretos Ecológicos para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)
Fonte: Organizado pela Autora (2025).

CONCLUSÕES

A liberação controlada de nutrientes em concretos ecológicos permite equilibrar nutrição vegetal, resistência estrutural e mitigação da lixiviação, configurando-se como uma alternativa promissora para a fertilização sustentável. A resistência à compressão axial influencia diretamente a retenção hídrica e a interação com o sistema radicular: concretos mais porosos e de menor resistência favorecem o desenvolvimento das raízes, enquanto os de resistência intermediária proporcionam um equilíbrio entre suporte estrutural e absorção de nutrientes. Já os concretos de alta resistência, embora apresentem boa retenção de nutrientes, exigem ajustes na porosidade para otimizar a compatibilidade com o crescimento vegetal. A incorporação de agregados reciclados e aditivos naturais contribui para o aumento da capacidade de retenção de umidade, estabilização do solo e reaproveitamento de resíduos, com redução nas emissões de CO₂. Dessa forma, esses materiais, por sua porosidade controlada, alinham durabilidade e funcionalidade ecológica, consolidando-se como alternativas para infraestruturas verdes e agricultura regenerativa. Apesar do avanço, ainda são limitados os estudos que integrem todos esses parâmetros de forma conjunta, o que reforça a necessidade de pesquisas futuras para ampliar sua escala.

A aplicação de resíduos da construção civil em concretos ecológicos com liberação controlada de nutrientes representa uma abordagem que integra eficiência na fertilização, em que suas propriedades estruturais e ambientais favorecem a implementação em cidades sustentáveis inteligentes, produção mais responsável e ações voltadas à mitigação das mudanças climáticas. Assim, essa estratégia se alinha aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 11, 12 e 13, consolidando-se como uma via promissora para práticas construtivas integradas à sustentabilidade.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Laboratório de Produção de Biocombustíveis (LPB) da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AZAD, A; SHEIKH, M. N; HAI, F. I. A critical review of the mechanisms, factors, and performance of pervious concrete to remove contaminants from stormwater runoff. **Water Research**, v. 251, p. 121101, 2024.
2. BRASIL. Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. 2002.
3. CHEN, H *et al.* Developing green and sustainable concrete in integrating with different urban wastes. **Journal of Cleaner Production**, v. 368, p. 133057, 2022.
4. Horiguchi, I. *et al.* Plant-growing performance of pervious concrete containing crushed oyster shell aggregate. **Cleaner Materials**, v. 2, p. 100027, 2021.
5. BIBI, T. *et al.* Microscopic analysis of the deleterious effects of ammonium nitrate fertilizer on concrete. **Construction and Building Materials**, v. 249, p. 118716, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118716>.
6. HUANG, F. *et al.* A novel chitosan/biochar-modified eco-concrete with balanced mechanical, planting, and water purification performance for riparian restoration. **Journal of Cleaner Production**, v. 481, p. 144144, 2024.
7. JALAEI, F; MASOUDI, R; GUEST, G. A framework for specifying low-carbon construction materials in government procurement: A case study for concrete in a new building investment. **Journal of Cleaner Production**, v. 345, p. 131056, 2022.
8. JIN, S. *et al.* Influence of aggregate characteristics on the plant growing environment of the planting concrete with SAC. **Journal of Cleaner Production**, v. 445, p. 141179, 2024.
9. LEI, J. *et al.* Study on green restoration of exposed mountain: Effect of isobutylidene diurea on slow-release of total nitrogen and physiological characteristics of euonymus fortunei in planted eco-concrete. **Construction and Building Materials**, v. 359, p. 129460, 2022.
10. LI, W. *et al.* Investigation on water and fertilizer retention properties of hydrated sulphoaluminate cement pastes modified by bentonite for porous ecological concrete. **Case Studies in Construction Materials**, v. 18, e01967, 2023.
11. NIU, R. *et al.* Controlled release fertilizer eco-concrete: Utilization of solid waste for the sustainable cleaner products conducive to ecological construction. **Construction and Building Materials**, v. 463, p. 140017, 2025.
12. SHANG, H; SUN, Z. Laboratory evaluation of PAHs removal by multi-functional green pervious concrete (MGPC) pavement. **Journal of Cleaner Production**, v. 315, p. 128032, 2021.
13. SHMLLS, M *et al.* Sustainability framework of recycled aggregate concrete produced with supplementary cementitious materials. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 14, n. 8, p. 102036, 2023.
14. SUN, R. *et al.* Ecological pervious concrete in revetment and restoration of coastal Wetlands: A review. **Construction and Building Materials**, v. 303, p. 124590, 2021.
15. TUREK-SZYTOW, J. *et al.* Fertilising properties of materials based on opoka and waste concrete after sorption of humic substances from raw reject water. **Chemosphere**, v. 368, p. 143768, 2024.
16. WU, C. *et al.* Preparation of a low-carbon plant-compatible ecological concrete with fertilizer self-release characteristics based on multi-solid waste co-recycling and its environmental impact. **Journal of Building Engineering**, v. 76, p. 107268, 2023.
17. ZHAO, M. *et al.* Experimental study on the vegetation characteristics of biochar-modified vegetation concrete. **Construction and Building Materials**, v. 206, p. 321-328, 2019.