

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM DIFERENTES DOSAGENS DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONCRETO

SILVA, Jorge Luis Oliveira¹ (jorge.oliveira@ctec.ufal.br); MORAES, Karoline Alves de Melo¹ (kamm@ctec.ufal.br); SILVEIRA, Evilly Raquel Henrique da¹ (evilly.silveira@ctec.ufal.br); SANTANA, Nora Nei Jessica Oliveira¹ (nora.santana@ctec.ufal.br); PASTOR, Thauany Alves¹ (thauany.pastor@delmiro.ufal.br); TEODORO, Antônio Peroba de Oliveira¹ (antonio.teodoro@ctec.ufal.br); NUNES, Jonathan Henrique Cordeiro¹ (Jonathan.nunes@ctec.ufal.br); SILVA, Celiane Mendes da¹ (celiane.silva@ctec.ufal.br); BARBOSA, Raira Silva¹ (raira.barbosa@ctec.ufal.br); SOUZA, Adysson André Fortuna de² (adysson.souza@ifs.edu.br); LIMA, Yuri de Oliveira¹ (yuri.oliveira@ctec.ufal.br); CRUZ, Antônia Karla da Silva² (antoniaksilva08@gmail.com); SILVA, Maria Luiza Malta da Rocha¹ (maria.rocha@ctec.ufal.br); MOTA, Ian Tiago Santos da² (ian.mota084@academico.ifs.edu.br).

¹Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Brasil

²Instituto Federal de Sergipe (IFS), Brasil

Palavras-chave: Impactos Ambientais, Resíduos da Construção e Demolição, Agregado Reciclado de Concreto, Avaliação de Ciclo de Vida, Sustentabilidade.

Resumo

A taxa de crescimento urbano, o ritmo acelerado de produção e consumo de materiais levanta questões sobre a exploração, limitações dos recursos naturais e impactos ambientais. Nesse contexto, dentro do setor da construção civil, buscando-se alternativas mais sustentáveis, visando a mitigação dos danos gerados pelos resíduos da construção e demolição (RCD), bem como a preservação dos agregados naturais, destaca-se a utilização de agregados reciclados de concreto (ARCO) para a produção de argamassas e concretos. Assim, o presente estudo foi desenvolvido com objetivo principal de analisar, de forma quantitativa e através de uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), a influência da utilização de agregados reciclados de concreto em diferentes teores de substituição. As devidas substituições investigadas foram de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de agregados graúdos e miúdos naturais por agregados reciclados de concreto. Os resultados mostram que à medida em que o teor de substituição do agregado natural pelo reciclado é ampliado, ocorre uma redução quantitativa dos impactos ambientais, como pode ser visto no fator de depleção da camada de ozônio que é minimizado notavelmente, evidenciando que os concretos com ARCO apresentam melhor desempenho ambiental. Essa verificação não apenas aumenta a viabilidade e a eficácia dos agregados reciclados na produção de concreto, mas também fornece uma perspectiva promissora para mitigar os impactos ambientais relacionados à construção, sugerindo um potencial caminho para fomentar a sustentabilidade na indústria do concreto.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é responsável por mais de 30% da extração de recursos naturais, além de 25% dos resíduos sólidos gerados no mundo, podendo atingir números maiores em países em desenvolvimento como o Brasil (BENACHIO; FREITAS; TAVARES, 2020). Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), os resíduos de construção e demolição (RCD) coletados pelos municípios brasileiros registraram 48 milhões de toneladas em 2021, este resultado representa cerca de 227 kg/hab/ano, equivalente a 60% dos resíduos sólidos urbanos gerados em todo país (ABRELPE, 2022).

Dar uma destinação adequada a esses resíduos tem sido tema de várias pesquisas científicas, uma vez que, em escala global, apenas 25% dos resíduos sólidos urbanos coletados são encaminhados para métodos de gerenciamento como a reciclagem. Essa situação ressalta a importância do estabelecimento de estratégias eficazes para disposição e tratamento desses resíduos em escala mundial (NANDA *et al.*, 2021). Neste contexto, o papel da utilização do RCD como agregado reciclado torna-se evidente. Uma vez que, pode gerar uma matéria prima de ótima qualidade (BRASILEIRO *et al.*, 2015).

Adicionalmente, Scrivener *et al.* (2018) e Visintin *et al.* (2020), afirmam que o concreto apresenta um dilema complexo diante da necessidade de grandes volumes do material para atender a demanda da sociedade moderna e melhorar os padrões de vida, frente as altas emissões de dióxido de carbono (CO₂). Especificamente, em 2021, 37% de todas as emissões de CO₂ relacionadas à energia foram associadas ao setor da construção civil, de acordo com o último Relatório de Situação Global para Edifícios e Construção (UNEP, 2022).

Diante da perspectiva de um futuro sustentável, a preservação de recursos não renováveis, a gestão eficiente de energia e o controle das emissões de CO₂, representam desafios significativos para a indústria da construção civil (LIMA *et al.*, 2022). Nesse cenário, surge a necessidade de desenvolvimento de soluções de menor impacto ambiental, com desempenho técnico melhor ou igual às existentes, e que sejam economicamente viáveis (JOHN, 2017). É nesse contexto que a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), foco deste trabalho, ganha destaque. Ela possibilita a avaliação de sustentabilidade ambiental de projetos, produtos e sistemas, contribuindo com a busca de alternativas que promovam a preservação do meio ambiente.

A ACV é uma ferramenta que permite avaliar potenciais impactos ambientais de um processo, produto ou serviço, desde a extração das matérias primas, distribuição, uso, até a disposição final (COLTRO, 2007). Conforme ilustrado por Ginzburg (2016), essa abordagem reconhece que qualquer entidade física percorre uma jornada por diferentes estágios ao longo de sua existência, e a soma de todos esses estágios, desde a concepção inicial até a sua obsolescência, é o que constitui o seu "ciclo de vida".

Os resultados derivados dessa metodologia são expressos em números com unidades que refletem as categorias de impacto, e permitem, inclusive, a comparações entre produtos. Trata-se de uma ferramenta bastante interessante, uma vez que, contribui com a avaliação da viabilidade de aplicação de um determinado produto (BEREZUK, 2015).

Desta forma, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de realizar uma avaliação de ciclo de vida, analisando a eficiência ambiental do concreto produzido por Silva (2023), através da incorporação de agregados reciclados, no âmbito do Laboratório de Estruturas e Materiais (LEMA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

No âmbito deste estudo, o *software* OpenLCA foi utilizado como ferramenta fundamental para realização da ACV. A unidade funcional escolhida foi o quilograma e a fronteira do sistema seguiu a abordagem “cradle to gate” (do berço ao portão), onde foram considerados os impactos provenientes desde a obtenção da matéria-prima até o transporte ao destino final. A avaliação de impacto de ciclo de vida (AICV) se deu através do método CML Baseline com as seguintes categorias de impacto: depleção abiótica (combustíveis fósseis), oxidação fotoquímica, acidificação, toxicidade humana, ecotoxicidade aquática de água doce, ecotoxicidade aquática marinha, ecotoxicidade terrestre, destruição da camada de ozônio (ODP), esgotamento abiótico, aquecimento global (GWP100a) e eutrofização.

2 METODOLOGIA

Dado a importância de avaliar o rendimento sustentável de concretos produzidos com RCD, o presente estudo visa realizar a Análise do Ciclo de Vida dos concretos produzidos com agregados reciclados de concreto (ARCO) de Silva (2023), embasado pela NBR ISO 14.040 (ABNT, 2009a) que apresentam os princípios e estrutura e pela NBR ISSO 14.044 (ABNT, 2009b) na qual são definidos os requisitos e orientações. Essas normas fundamentam as etapas para a aplicação da metodologia, que é subdividida em definição do objeto e escopo, análise de inventário (ICV), avaliação dos impactos (AICV) e interpretação dos resultados.

Na etapa de objeto e escopo é incluído o sistema de produto a ser estudado, a unidade funcional, a fronteira do sistema e suas limitações. Enquanto isso, a fase de análise de inventário envolve a compilação e quantificação das entradas e saídas de um sistema de produto ao longo seu ciclo de vida, ou seja, é onde realiza-se a coleta dos dados de entrada e saída do produto estudado. Já a fase de impacto visa o entendimento e a avaliação da magnitude e significância dos impactos ambientais de um sistema de produto, ou seja, é a etapa de processamento dos dados e organização dos impactos por categoria, com o intuito de auxiliar na interpretação dos resultados (ABNT, 2009a).

2.1 Objetivo e escopo

O objetivo principal do estudo é avaliar de forma quantitativa o desempenho ambiental de concretos produzidos com diferentes dosagens de agregados reciclados utilizando a metodologia de avaliação de ciclo de vida (ACV), como também realizar um estudo comparativo destes concretos com um concreto produzido com agregados naturais.

O *software* para modelagem empregado neste estudo será o OpenLCA v2.0.1, com o auxílio da base de dados da Ecoinvent 3.8 LCI.

2.2 Unidade funcional e fronteiras do sistema

No estudo em questão, foi utilizada como unidade funcional um metro cúbico de concreto e, como mencionado anteriormente, a fronteira adotada foi “do berço ao portão” (conforme ilustrado na Figura 1). Dessa forma, foram considerados os impactos ambientais desde a obtenção da matéria-prima até a produção e transporte do concreto até o local de saída. O cimento e a água foram considerados produtos, recebendo, portanto, todos os impactos ambientais desde a extração da

matéria-prima até sua produção e transporte para o destino final. Quanto aos resíduos reciclados, somente os impactos do transporte e beneficiamento foram atribuídos, não sendo considerados impactos anteriores à sua geração.

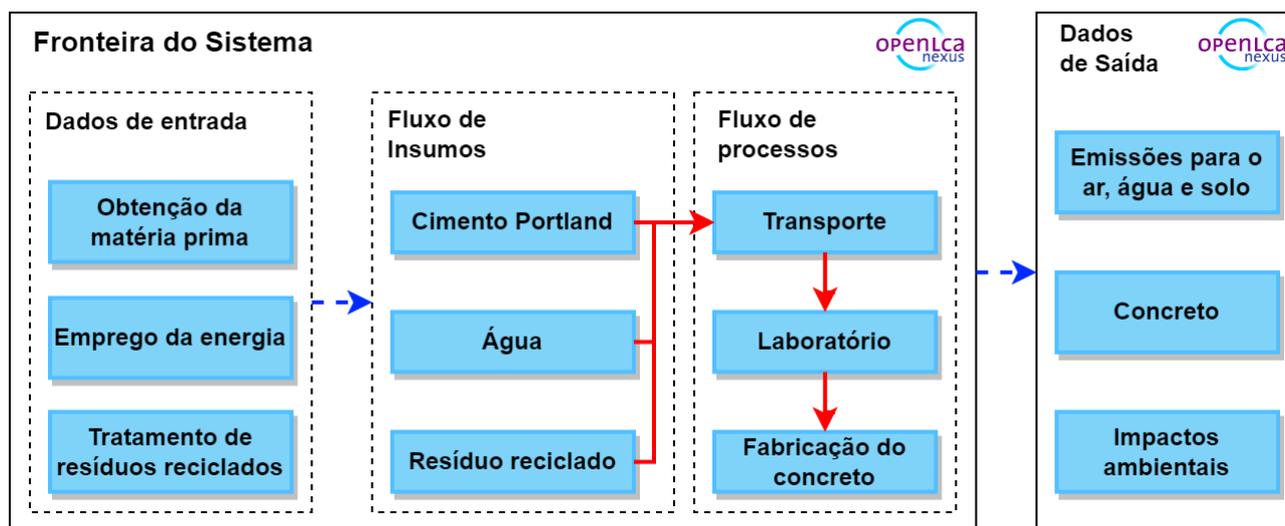


Figura 1. Fronteiras do sistema, adaptado de Coelho (2016).

Para produção dos concretos com agregados reciclados foram utilizados os seguintes materiais: agregados reciclados (miúdo e graúdo) originados da britagem de corpos de prova (CP) de concreto, provenientes do controle de qualidade de construtoras e disponibilizados pelo Laboratório de Estruturas e Materiais (LEMA). Cimento composto com fíler (CP II-F-32), obtido em distribuidores locais e produzido em uma fábrica em Marechal Deodoro- AL, situado a 28 km da UFAL. A água utilizada foi a disponível na rede de abastecimento da Universidade Federal de Alagoas – UFAL.

2.3 Análise de inventário do ciclo de vida (ICV)

A condução eficaz da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) exige uma base sólida de dados e uma compreensão profunda dos procedimentos de cálculo necessários para realizar o estudo de forma abrangente e precisa. No caso em análise, os dados fundamentais foram adquiridos da literatura (SILVA, 2023). A Tabela 1 apresenta a composição dos concretos produzidos com substituições parciais dos agregados naturais por reciclados (CR25, CR50, CR75), com substituição total dos agregados naturais por reciclados (CR100) e sem substituição (CCV).

Com o auxílio do software OpenLCA e as dosagens apresentadas na Tabela 1, foi possível modelar os concretos a partir do inventário. Na etapa inicial, foi necessário criar os fluxos de processo de cada insumo necessário à mistura. Em relação aos materiais utilizados na mistura, mais especificadamente para os agregados, no total foram criados cinco tipos de fluxos, (um para o agregado miúdo e agregado graúdo natural (concreto CCV) e quatro para as misturas com o agregado reciclado de acordo com o percentual de substituição (25%, 50%, 75% e 100%). A criação destes fluxos auxiliou na obtenção de informações no que diz respeito ao quantitativo de impactos

atrelado a cada mistura, uma vez que, o consumo energético gasto na etapa de beneficiamento varia de forma proporcional a quantidade do material utilizado.

Tabela 1. Composições e fluxos de processos para a produção de 1m³ de concreto.

Insumos	Unidades	Concretos				
		CCV	CR25	CR50	CR75	CR100
Agregado Graúdo	kg	798,62	598,97	399,31	199,66	-
Agregado Miúdo	kg	745,60	559,20	372,80	186,40	-
Agregado Graúdo Reciclado	kg	-	199,66	399,31	598,97	798,62
Agregado Miúdo Reciclado	kg	-	186,40	372,80	559,20	745,60
Cimento Portland II F	kg	444,00	444,00	444,00	444,00	444,00
Água	kg	222,00	222,00	222,00	222,00	222,00
Consumo energético	kWh	4,11	4,11	4,11	4,11	4,11

A Tabela 2 apresenta o registro detalhado do ciclo de vida do resíduo investigado, fornecendo informações sobre os materiais, suas respectivas quantidades e as fontes de referência empregadas para a Análise de Ciclo de Vida (ACV).

Tabela 2. Inventario do ciclo de vida dos concretos produzidos.

Material	Montagem do material	Quantidade	Fonte de dados	Fonte de consumo de material e energia
Agregado Graúdo	gravel 2/32	1.00 kg/kg	Ecoinvent 3.8	-
	Transport, lorry 16-32t, EURO3	20.00 kg*km/kg	Ecoinvent 3.8	Google Maps
AGR	Electricity	0.27 kWh/kg	Ecoinvent 3.8	Fabricante
	Transport, lorry 16-32t, EURO3	3.47 kg*km/kg	Ecoinvent 3.8	Google Maps
Agregado Miúdo	sand 0/2	1.00 kg/kg	Ecoinvent 3.8	-
	Transport, lorry 16-32t, EURO3	70 kg*km/kg	Ecoinvent 3.8	Google Maps
AMR	Electricity	0.27 kWh/kg	Ecoinvent 3.8	Fabricante
	Transport, lorry 16-32t, EURO3	3.47 kg*km/kg	Ecoinvent 3.8	Google Maps
CP II F	portland cement (CEM I)	0.92 kg/kg	Ecoinvent 3.8	-
	Limestone, milled, packed, at plant	0.08 kg/kg	Ecoinvent 3.8	-
	Transport, lorry 16-32t, EURO3	28.00 kg*km/kg	Ecoinvent 3.8	Google Maps
Água	Tap water, at user	1.00 kg/kg	Ecoinvent 3.8	-

Consumo energético para concretagem	Electricity	1.00 kWh/kWh	Ecoinvent 3.8	Marceau <i>et al.</i> (2007)
-------------------------------------	-------------	--------------	---------------	------------------------------

2.4 Etapa de produção dos agregados reciclados de concreto (ARCO)

Inicialmente os corpos de prova foram rompidos para obter a resistência à compressão, deixando-se fragmentar para diminuir o tamanho dos resíduos, devido à limitação na abertura dos britadores. Na etapa de cominuição, a amostra foi fragmentada em dois britadores distintos (britador de mandíbula e britador de martelos). Para a presente pesquisa, todo o agregado reciclado beneficiado foi misturado manualmente, em seguida, foi separado em agregados graúdo e miúdo, utilizando as peneiras estabelecidas pela NBR 7211 (ABNT, 2022).

Para calcular os impactos associados aos agregados reciclados, os gastos com eletricidade apresentados por Marceau *et al.* (2007) de 4,11 kWh/m³ (14,81 MJ/m³) foram considerados. No entanto, devido à falta de informações sobre o consumo de energia dos equipamentos utilizados por Silva (2023) para obter os agregados reciclados, foram utilizados dados de equipamentos semelhantes, encontrados em catálogos de fabricantes. Para o britador de mandíbulas, adotou-se um consumo de energia de 0,25 KWh/t, valor referente a um equipamento com capacidade de produção de 4 a 16 m³h. Para o britador de martelos, foi adotado um consumo de energia de 0,27 KWh/t, sendo a capacidade de produção de 15 a 48 m³h.

2.5 Avaliação de impacto de ciclo de vida (AICV)

Os dados obtidos no inventário são associados às categorias de impactos ambientais nesta etapa. Como no Brasil ainda não foram desenvolvidos métodos de AICV com características regionais, optou-se por escolher o método CML Baseline, cujas categorias de impactos são: depleção abiótica (combustíveis fósseis), oxidação fotoquímica, acidificação, toxicidade humana, ecotoxicidade aquática de água doce, ecotoxicidade aquática marinha, ecotoxicidade terrestre, destruição da camada de ozônio (ODP), esgotamento abiótico, aquecimento global (GWP100a) e eutrofização.

3 RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados da fase de avaliação de impacto de ciclo de vida (AICV) dos cinco concretos em estudo.

Pode-se observar na Tabela 3 a quantificação dos impactos ocasionados da produção dos concretos em questão, observando-se as devidas variações de dosagem elaboradas por Silva (2023) no que se refere ao uso de agregados reciclados de concreto em substituição aos agregados naturais.

Tabela 3. Impactos referentes à produção de 1m³ de concreto

Categoria de impacto	Referência Unitária	CCV	CR25	CR50	CR75	CR100
Esgotamento abiótico	kg Sb eq/m ³	7,105E-06	9,371E-06	1,133E-05	1,345E-05	1,556E-05
Acidificação	kg SO ₂ eq/m ³	578,647	446,212	312,995	180,171	47,343
Eutrofização	kg PO ₄ --- eq/m ³	38,751	29,892	20,980	12,095	3,209
Eco toxicidade aquática de água doce	kg 1,4-DB eq/m ³	187,066	144,216	101,113	58,137	15,160
Aquecimento global (GWP100a)	kg CO ₂ eq/m ³	115457,146	89076,152	62539,234	36080,662	9621,322
Toxicidade humana	kg 1,4-DB eq/m ³	10965,451	8453,712	5927,135	3408,013	888,818
Eco toxicidade aquática marinha	kg 1,4-DB eq/m ³	15007666,92	11572835,00	8117707,80	4672778,25	1227748,69
Depleção da camada de ozônio (ODP)	kg CFC-11 eq/m ³	7,534E-03	5,811E-03	4,078E-03	2,350E-03	6,220E-04
Oxidação fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq/m ³	31,234	24,090	16,903	9,738	2,573
Eco toxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq/m ³	51,713	39,935	28,087	16,275	4,462

Com base na análise dos dados apresentados na Tabela 3 é possível concluir que à medida que o teor de substituição do agregado natural pelo reciclado é ampliado, observa-se um padrão notório de redução quantitativa dos impactos ambientais, ou seja, os concretos com ARCO demonstram um desempenho ambiental superior, como era esperado. Essa constatação não apenas reforça a viabilidade e eficácia dos agregados reciclados na produção de concretos, mas também sugere uma perspectiva promissora para a mitigação dos efeitos ambientais associados à construção, indicando um potencial caminho para impulsionar a sustentabilidade na indústria do concreto.

No que tange à avaliação da Depleção da Camada de Ozônio (ODP), sabe-se que a mesma guarda relação com a emissão de compostos químicos na atmosfera. Notavelmente, a extração de agregados naturais resulta em uma liberação considerável de compostos halogenados no ambiente, quando comparada à quantidade liberada na produção equivalente de agregado reciclado. Esta discrepância, que aponta para uma expressiva redução dos impactos ambientais nessa categoria, se justifica por si só, reforçando ainda mais a premissa da diminuição significativa das implicações ambientais associadas.

De maneira abrangente, é evidente que, mesmo considerando os gastos energéticos envolvidos no processo de beneficiamento do ARCO, há um impacto ambiental global positivo quando se emprega o m³ de concreto produzido com tais agregados como a unidade funcional. Fato este que reforça a conclusão de que a substituição dos agregados naturais pelos reciclados resulta em um equilíbrio ambiental vantajoso.

O presente trabalho não levou em consideração o desempenho mecânico dos concretos, porém sabe-se que concretos produzidos com agregados reciclados apresentam propriedades físico-mecânicas inferiores em comparação ao concreto convencional, o que é visto largamente na literatura – Silva (2023), Maia *et al.* (2022), Africano (2021). Sabe-se que para que as misturas tivessem a mesma resistência à compressão, seria necessário fazer uma alteração na dosagem, o que levaria a novas medidas de impacto ambiental.

Em vista disso, levando-se em consideração apenas os consumos dos materiais, devido aos baixos níveis de impacto provenientes da produção dos concretos com agregados reciclados, conclui-se que a substituição dos agregados naturais por ARCO mostra-se como uma alternativa eficaz ao uso da matéria-prima convencional e apresenta um caminho para a reinserção dos resíduos da construção civil na cadeia produtiva de mercado.

4 CONCLUSÕES

A metodologia de avaliação do ciclo de vida é uma ferramenta amplamente utilizada na análise dos impactos ambientais de qualquer processo produtivo. Neste estudo, a ACV permitiu a análise dos impactos ambientais do uso de agregados reciclados na produção de concretos quando comparados com o uso de agregado natural.

Por meio da análise de impactos realizada através do software OpenLCA, foi possível evidenciar a viabilidade ambiental do uso dos agregados reciclados para a produção dos concretos. Em função deste estudo, revelou-se que a produção de concreto com agregados reciclados resultou em um consumo energético menor que o da produção convencional, mesmo considerando-se o processo de beneficiamento dos resíduos para obtenção dos agregados reciclados.

Dessa maneira, conclui-se que a utilização de agregados reciclados contribui para a redução da demanda por recursos naturais e para a diminuição da pegada de carbono associada à produção de concreto, uma vez que os impactos causados pelos agregados reciclados não abrangem a extração.

Em suma, o estudo evidenciou que a incorporação do agregado reciclado pode não apenas reduzir os impactos ambientais negativos, mas também contribuir para a promoção de uma economia circular e de sistemas construtivos mais responsáveis. Diante dos desafios globais de recursos naturais finitos e mudanças climáticas, a utilização de agregados reciclados apresenta-se como uma alternativa promissora.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Africano, N. A. (2021). Concreto com agregado graúdo reciclado de resíduo da construção e demolição para fins estruturais. Dissertação. Mestrado em engenharia civil.) Universidade Estadual Paulista.

Associação Brasileira de normas técnicas. (2022). ABNT NBR 7211: Agregados para concreto- Especificação, Rio de Janeiro.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2009a). NBR ISO 14040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro.

_____. (2009b). NBR 14044: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações. Rio de Janeiro.

ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. (2022). Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2022/>. Acesso em: 8 ago. 2023.

- Benachio, G. L. F.; Freitas, M. C. D.; Tavares, S. (2020). Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. *Journal of cleaner production*, v. 260, p. 121046.
- Berezuk, F. D. (2015). Avaliação do ciclo de vida do concreto convencional com cinza do bagaço de cana-de-açúcar em substituição parcial da areia. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em engenharia urbana. Universidade Estadual de Maringá (UEM). Maringá, Brasil.
- Brasileiro, L. L.; Matos, J. M. E. (2015). Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. *Cerâmica*, v. 61, p. 178-189.
- Coelho, F. Z. (2016). Avaliação do ciclo de vida cradle-to-gate de traços de concretos autoadensáveis com incorporação de resíduos e subprodutos industriais. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- Coltro, L. (2007). Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão. Campinas: CETEA/ITAL.
- Ginzburg, Alexander. *Sustainable Building Design*. MATEC Web of Conferences, v.73, n. 02018, p. 1-7, 2016.
- John, V. M. (2017). Materiais de construção e o meio ambiente. ISAIA, G. *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. São Paulo: IBRACON.
- Lima, C. J. F.; Ribeiro, F. R. C.; Modolo, R. C. E.; Mancio, M. (2022). Durability, life cycle cost and life cycle assessment of binary mixtures with fly ash, rice husk ash and concrete demolition waste. *Ambiente Construído*, v. 22, p. 161-177.
- Maia, P. S.; Junior, L. A. S.; Salles, P. V.; Carvalho, M. V. S. (2022). Avaliação técnica de concreto estrutural fabricado com agregado graúdo de resíduos de construção e demolição. *Research, Society and Development*, v.11, n.8.
- Marceau, M. L., Nisbet, M. A., Vangeem, M. G. (2007). Life Cycle Inventory of Portland Cement Concrete. Portland Cement Association.
- Nanda, S.; Berruti, F. (2021). Municipal solid waste management and landfilling technologies: a review. *Environmental Chemistry Letters*, v. 19, p. 1433-1456.
- Silva, J. L. O. (2023). Análise de propriedades mecânicas de concretos produzidos com diferentes dosagens de agregados reciclados de concreto. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em engenharia civil. Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Maceió, Brasil.
- United Nations Environment Programme. (2022). Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi.
- Visintin, P.; Xie, T.; Bennett, B. (2020). A large-scale life-cycle assessment of recycled aggregate concrete: The influence of functional unit, emissions allocation and carbon dioxide uptake. *Journal of Cleaner Production*, v. 248.