



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E**  
**AMBIENTAL**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**JOSÉ FLORO DE ARRUDA NETO**

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE SUSTENTABILIDADE**  
**AMBIENTAL PARA GESTÃO PÚBLICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS**  
**DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Caruaru

2024

JOSÉ FLORO DE ARRUDA NETO

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE SUSTENTABILIDADE  
AMBIENTAL PARA GESTÃO PÚBLICA DE RESÍDUOS DA  
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

**Área de concentração:** Tecnologia Ambiental.

**Linha de pesquisa:** Sustentabilidade Ambiental.

**Orientador:** Prof. Dr. Gilson Lima da Silva.

Caruaru

2024

. Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Arruda Neto, Jose Floro de.

Aplicação de ferramentas de sustentabilidade ambiental para gestão pública de resíduos sólidos da construção civil / Jose Floro de Arruda Neto. - Caruaru, 2024.

103f.: il.

Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2024.

Orientação: Gilson Lima da Silva.

1. Gestão ambiental; 2. gestão de resíduos sólidos; 3. resíduos de construção civil; 4. avaliação de ciclo de vida. I. Silva, Gilson Lima da. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

CDD 624

JOSÉ FLORO DE ARRUDA NETO

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE SUSTENTABILIDADE  
AMBIENTAL PARA GESTÃO PÚBLICA DE RESÍDUOS DA  
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

**Área de concentração:** Tecnologia Ambiental.

**Linha de pesquisa:** Sustentabilidade Ambiental.

Aprovada em: \_\_/\_\_/\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Gilson Lima da Silva (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Érika Alves Tavares Marques (Examinadora Externa)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr.<sup>a</sup> Simone Machado Santos (Examinadora Interna)  
Universidade Federal de Pernambuco

*Dedico este trabalho ao meu filho Joaquim, saiba que tudo que seu pai e sua mãe fazem sempre é pensando em seu futuro, te amamos.*

## AGRADECIMENTOS

Ao longo de minha jornada acadêmica tive muitas pessoas importantes. Aqui dedico estas palavras, que mesmo bonitas não representam toda a gratidão por vocês.

Inicialmente agradeço a Deus, o grande árbitro do Universo, por tudo que me permite e me dá, pela força e coragem de ter me feito chegar aqui.

Agradeço à minha Mãe Izabel por todo amor, por sempre me proporcionar o estudo e me criar compreendendo a importância da educação, de valores sociais e éticos.

Agradeço com muito carinho à minha esposa Amanda, que sempre me incentivou a estudar, foi minha força, companheira, cúmplice em todos os momentos da minha caminhada acadêmica. Desde que a conheci todas as conquistas foram conjuntas.

Agradeço ao meu Orientador e Amigo Professor Dr. Gilson Lima da Silva, ao qual tenho muito carinho e respeito por tudo que representa como engenheiro, professor, pesquisador, pai e avô. De todos os ensinamentos, a ética e dedicação sempre serão por mim lembradas. Tenho a honra de ter sido orientado desde o início da graduação, e espero sempre tê-lo como orientador, conselheiro e exemplo.

Agradeço aos meus cunhados e compadres Dr. Domingos Aguiar e Polyana Aguiar, por todos os conselhos e por toda a energia positiva, sempre torcendo por tudo que fazemos, obrigado pelo acolhimento e a oportunidade de ser tio de José e Letícia.

Agradeço aos meus irmãos Gustavo Aguiar e Iálysson Medeiros, os quais sempre estiveram ao meu lado desde o início da graduação, engenheiros e pesquisadores dedicados, foi um presente conhecê-los e tê-los como amigos e companheiros de estudo.

Agradeço ao Ronildo Ferreira, meu coordenador na época do estágio, por tantos ensinamentos técnicos e principalmente pelos ensinamentos da vida, grande amigo e conselheiro.

Agradeço aos professores Dr<sup>a</sup> Simone Machado, Dr<sup>a</sup>. Érika Marques e Dr. Diogo Paz, da Universidade Federal de Pernambuco, por todas as contribuições científicas a este estudo.

Agradeço à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), especialmente ao Campus Acadêmico do Agreste (CAA), todos seus professores, técnicos e demais funcionários, que fazem a Universidade tão grande pela dedicação e empenho.

Agradeço ao GAMA, Grupo de Gestão Ambiental Avançada, e todos seus membros pela oportunidade que tive de aprender e me desenvolver academicamente, sem ele não teria chegado até aqui.

Agradeço à Prefeitura de Caruaru, especialmente à Autarquia de Urbanização e Meio Ambiente (URB), pela oportunidade de coletar os dados e acreditar na pesquisa.

Agradeço ao Governo de Pernambuco, através da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo fomento a esta pesquisa.

Finalmente agradeço a todos os demais amigos pelo carinho e apoio.

## RESUMO

O atual cenário da Construção Civil dispõe de diversas ferramentas e técnicas, que possibilitam a construção de estruturas cada vez mais complexas, os projetos atuais ultrapassam as necessidades estéticas e estruturais, observando fatores humanísticos em sua concepção, entre eles a sustentabilidade ambiental, presente na Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU) em seus objetivos. Embora sejam evidentes as contribuições tecnológicas, o Brasil se distancia da almejada sustentabilidade na Construção Civil, especialmente em regiões com menor potencial econômico. O setor representa grande influência nos impactos ambientais, causados pelo consumo, por processos, pela utilização da estrutura e pelos resíduos gerados ao longo do ciclo de vida. No Brasil a geração dos Resíduos de Construção Civil (RCC) apresenta crescimento nos últimos anos, apesar das ações propostas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). O gerenciamento adequado dos RCC possibilita a redução dos impactos ambientais. É possível estimar estes impactos através de metodologias normatizadas, como a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e com isso possibilitar políticas públicas efetivas para mitigação. A cidade de Caruaru, situada na região Agreste do Estado de Pernambuco, é reconhecida por ser o mais importante polo do interior do Estado e um dos centros econômicos mais pujantes da região Nordeste, possuindo entre suas diversas vocações a Construção Civil, sendo por isso a área escolhida para este estudo. Diante do exposto, torna-se necessário conhecer efetivamente as características de geração dos RCC, em cidades de pequeno e médio porte, como no caso de Caruaru, possibilitando a gestão efetiva destes resíduos. Sendo assim, o presente trabalho pretende suprir esta lacuna, conseqüentemente, fornece uma base teórica para ações mais efetivas no município. Este trabalho tem como principal objetivo aplicar ferramentas de Análise de Ciclo de Vida para propor melhorias no atual modelo de gestão dos RCC na cidade de Caruaru-PE. Para que isso fosse possível, foi realizada a descrição da área de estudo através de mapas e dados do município, e posteriormente revisão de literatura sobre a temática dos RCC, através da metodologia Prisma, apoiada no *software VosViewer*. Em seguida, foi estimado o volume de RCC descartado no município, através de dados do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR). Através da revisão de literatura foi possível identificar a composição gravimétrica genérica na região Nordeste e a partir dela definida a composição do inventário de ciclo de vida. Foram definidas duas unidades funcionais, uma contendo uma tonelada de RCC e outra o volume total estimado para o Município, e avaliados dois cenários, um para descarte em aterro sanitário e outro para reciclagem dos resíduos, desta forma foi possível realizar a ACV, através do *software SimaPro (System for Integrated Environmental Assessment of Products)*, utilizando os métodos *Recipe Midpoint* e CML IA e identificar os impactos ambientais para as condições de total reciclagem e destinação ao aterro sanitário, equivalente ao praticado pelo município. Como resultado foi possível observar que os cenários envolvendo reciclagem apresentam grande vantagem ambiental em relação ao cenário de descarte, entre os resíduos avaliados, os de amianto e ferrosos apresentaram maiores impactos ambientais em relação ao descarte em aterro sanitário. Para o município de Caruaru foram propostos ajustes operacionais na gestão de RCC e estudos de viabilidade econômica para o beneficiamento de RCC e venda destes materiais como agregados para aterro, observado no estudo um valor superior a R\$ 5.300.000,00 apenas com a venda do material beneficiado.

**Palavras-chave:** Gestão Ambiental; Gestão de Resíduos Sólidos; Resíduos de Construção Civil; Avaliação de Ciclo de Vida.

## ABSTRACT

The current Civil Construction scenario has several tools and techniques that enable the construction of increasingly complex structures. Current projects go beyond aesthetic and structural needs, observing humanistic factors in their design, including environmental sustainability, present in the United Nations (UN) Agenda 2030 in its objectives. Although technological contributions are evident, Brazil is far from the desired sustainability in Civil Construction, especially in regions with lower economic potential. The sector represents a great influence on environmental impacts, caused by consumption, processes, the use of the structure and waste generated throughout the life cycle. In Brazil, the generation of Civil Construction Waste (RCC) has grown in recent years, despite the actions proposed by the National Solid Waste Policy (PNRS). Proper management of RCC makes it possible to reduce environmental impacts. It is possible to estimate these impacts through standardized methodologies, such as Life Cycle Assessment (LCA) and thus enable effective public policies for mitigation. The city of Caruaru, located in the Agreste region of the State of Pernambuco, is recognized for being the most important hub in the interior of the State and one of the most vigorous economic centers in the Northeast region, having among its various vocations Civil Construction, which is why it is the area chosen for this study. In view of the above, it is necessary to effectively know the generation characteristics of RCC, in small and medium-sized cities, as in the case of Caruaru, enabling the effective management of this waste. Therefore, the present work aims to fill this gap, consequently providing a theoretical basis for more effective actions in the municipality. This work's main objective is to apply Life Cycle Analysis tools to propose improvements to the current RCC management model in the city of Caruaru-PE. To make this possible, the study area was described using maps and data from the municipality, and subsequently a literature review on the topic of RCC using the Prisma methodology supported by the VosViewer software. Then, the volume of RCC discarded in the municipality was estimated, using data from the National Information System on Solid Waste Management (SINIR). Through the literature review, it was possible to identify the generic gravimetric composition in the Northeast region and from there defined the composition of the life cycle inventory. Two functional units were defined, one containing a ton of RCC and the other the total estimated volume for the Municipality, and two scenarios were evaluated, one for disposal in a landfill and the other for waste recycling, in this way it was possible to carry out the LCA through the software SimaPro (System for Integrated Environmental Assessment of Products), using the Recipe Midpoint and CML IA methods and identifying the environmental impacts for the conditions of total recycling and landfill disposal, equivalent to that practiced by the municipality. As a result, it was possible to observe that scenarios involving recycling have a great environmental advantage in relation to the disposal scenario. Among the waste assessed, asbestos and ferrous waste presented greater environmental impacts in relation to disposal in landfills. For the municipality of Caruaru, operational adjustments were proposed in the management of RCC and economic feasibility studies for the processing of RCC and the sale of these materials as aggregates for landfill, with a value exceeding R\$ 5,300,000.00 being observed in the study just from the sale of the material benefited.

**Keywords:** Environmental management; Solid waste management; Civil Construction Waste; Life Cycle Assessment.



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> – Arcabouço legal da Política de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos.....        | 19 |
| <b>Figura 2</b> - Descarte irregular às margens do Rio Ipojuca - Caruaru-PE.....                | 30 |
| <b>Figura 3</b> - Resíduo de RCC no Leito do Rio Ipojuca - Caruaru-PE.....                      | 30 |
| <b>Figura 4</b> - Localização do município de Caruaru no Estado de Pernambuco.....              | 30 |
| <b>Figura 5</b> - Mancha urbana do Município de Caruaru.....                                    | 31 |
| <b>Figura 6</b> - Localização CTR Caruaru.....                                                  | 32 |
| <b>Figura 7</b> - Precipitações Mensais - Município de Caruaru - 1965-2020.....                 | 33 |
| <b>Figura 8</b> - Fluxograma da Metodologia Prisma.....                                         | 34 |
| <b>Figura 9</b> - Rede de Autores.....                                                          | 40 |
| <b>Figura 10</b> - Países com pesquisas relacionadas.....                                       | 41 |
| <b>Figura 11</b> - Rede de palavras-chave.....                                                  | 42 |
| <b>Figura 12</b> - Rede de palavras-chave, destaque para os RCC.....                            | 42 |
| <b>Figura 13</b> - Rede de palavras-chave, destaque para <i>life cycle assessment</i> .....     | 43 |
| <b>Figura 14</b> - Análise de 1 ton RCC, Recipe 2016 Midpoint (H) V 1.04 World 2010 (H).....    | 49 |
| <b>Figura 15</b> - Análise de 1 ton RCC, CML-IA Baseline V 3.06 EU 25.....                      | 50 |
| <b>Figura 16</b> - Análise do RCC estimado, Recipe 2016 Midpoint (H) V 1.04 World 2010 (H)..... | 51 |
| <b>Figura 17</b> - Análise do RCC estimado, CML-IA Baseline V 3.06 EU25.....                    | 52 |
| <b>Figura 18</b> - Análise de 1 ton RCC, Recipe 2016 Midpoint (H) V 1.04 World 2010 (H).....    | 53 |
| <b>Figura 19</b> - Análise de 1 ton RCC, CML-IA Baseline V 3.06 EU 25.....                      | 54 |
| <b>Figura 20</b> - Análise do RCC estimado, Recipe 2016 Midpoint (H) V 1.04 World 2010 (H)..... | 55 |
| <b>Figura 21</b> - Análise do RCC estimado, CML-IA Baseline V 3.06 EU25.....                    | 56 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1-</b> Resíduos classificados para ACV.....                                           | 39 |
| <b>Tabela 2</b> - Geração <i>per capita</i> : Nordeste. ....                                    | 46 |
| <b>Tabela 3-</b> Cenário de avaliação proposto.....                                             | 47 |
| <b>Tabela 4</b> - Inventário de Geração estimado. ....                                          | 47 |
| <b>Tabela 5-</b> Análise de 1 ton RCC, Recipe 2016 Midpoint (H) V 1.04 World 2010 (H)..         | 49 |
| <b>Tabela 6</b> - Análise de 1 ton RCC, CML-IA Baseline V 3.06 EU 25.....                       | 50 |
| <b>Tabela 7</b> - Análise do RCC estimado, Recipe 2016 Midpoint (H) V 1.04 World 2010 (H).....  | 51 |
| <b>Tabela 8</b> - Análise do RCC estimado, CML-IA Baseline V 3.06 EU25. ....                    | 52 |
| <b>Tabela 9</b> - Análise de 1 ton RCC, Recipe 2016 Midpoint (H) V 1.04 World 2010 (H). 53      |    |
| <b>Tabela 10</b> - Análise de 1 ton RCC, CML-IA Baseline V 3.06 EU 25.....                      | 54 |
| <b>Tabela 11</b> - Análise do RCC estimado, Recipe 2016 Midpoint (H) V 1.04 World 2010 (H)..... | 55 |
| <b>Tabela 12</b> - Análise do RCC estimado, CML-IA Baseline V 3.06 EU25. ....                   | 56 |
| <b>Tabela 13</b> - Histórico de Autuações Ambientais, Caruaru. ....                             | 56 |
| <b>Tabela 14</b> - Volume Estimado, destinado ao Aterro Sanitário. ....                         | 60 |
| <b>Tabela 15</b> - Valor de Venda de Agregados.....                                             | 61 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                |                                                                           |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------|
| <b>ABNT</b>    | Associação Brasileira de Normas Técnicas                                  |
| <b>ABRELPE</b> | Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais |
| <b>ACV</b>     | Avaliação do Ciclo de Vida                                                |
| <b>BIM</b>     | <i>Building Information Modeling</i>                                      |
| <b>CAA</b>     | Centro Acadêmico do Agreste                                               |
| <b>CAPES</b>   | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior               |
| <b>CBCS</b>    | Conselho Brasileiro de Construção Sustentável                             |
| <b>CONAMA</b>  | Conselho Nacional do Meio Ambiente                                        |
| <b>CONSEMA</b> | Conselho Estadual de Meio Ambiente                                        |
| <b>CPRH</b>    | Agência Estadual de Meio Ambiente (Pernambuco)                            |
| <b>EPS</b>     | <i>Expanded Polystyrene</i> (poliestireno expandido)                      |
| <b>ESG</b>     | <i>Environmental, Social and Governance</i>                               |
| <b>FACEPE</b>  | Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco         |
| <b>GAMA</b>    | Grupo de Gestão Ambiental Avançada                                        |
| <b>GIS</b>     | Sistema de Informações Geográficas                                        |
| <b>IAB</b>     | Indicador de Abastecimento de Água                                        |
| <b>IBGE</b>    | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                           |
| <b>ICV</b>     | Indicador de Controle de Vetores                                          |
| <b>IES</b>     | Indicador de Esgotos Sanitários                                           |
| <b>ISE</b>     | Indicador Socioeconômico                                                  |
| <b>MEC</b>     | Ministério da Educação                                                    |
| <b>NBR</b>     | Norma Brasileira Regulamentar                                             |
| <b>ODS</b>     | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável                                  |
| <b>ONU</b>     | Organização das Nações Unidas                                             |
| <b>PERS</b>    | Política Estadual de Resíduos Sólidos (Pernambuco)                        |
| <b>PGIRS</b>   | Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (Caruaru-PE)                |
| <b>PIB</b>     | Produto Interno Bruto                                                     |
| <b>PMC</b>     | Prefeitura Municipal de Caruaru                                           |
| <b>PNRS</b>    | Política Nacional de Resíduos Sólidos                                     |
| <b>RCC</b>     | Resíduos de Construção Civil                                              |
| <b>RCD</b>     | Resíduos de Construção e Demolição                                        |
| <b>RSU</b>     | Resíduos Sólidos Urbanos                                                  |

|                 |                                                                      |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>SECTMA</b>   | Secretaria de Ciência Tecnologia e Meio Ambiente                     |
| <b>SESP</b>     | Secretaria de Serviços Públicos e Sustentabilidade                   |
| <b>SIG</b>      | Sistemas de Informação Geográfica                                    |
| <b>SIMAPRO</b>  | <i>System for Integrated Environmental Assessment of Products</i>    |
| <b>SINAPI</b>   | Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil |
| <b>SISNAMA</b>  | Sistema Nacional do Meio Ambiente                                    |
| <b>SINMETRO</b> | Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial  |
| <b>SINIR</b>    | Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos  |
| <b>SINISA</b>   | Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico                 |
| <b>SNVS</b>     | Sistema Nacional de Vigilância Sanitária                             |
| <b>SUASA</b>    | Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária                 |
| <b>UFPE</b>     | Universidade Federal de Pernambuco                                   |
| <b>URB</b>      | Autarquia de Urbanização e Meio Ambiente (Caruaru-PE)                |

## SUMÁRIO

|             |                                                                                                                                          |           |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.</b>   | <b>INTRODUÇÃO</b>                                                                                                                        | <b>11</b> |
| <b>2.</b>   | <b>OBJETIVOS</b>                                                                                                                         | <b>16</b> |
| <b>2.1</b>  | <b>Objetivo Geral</b>                                                                                                                    | <b>16</b> |
| <b>2.2.</b> | <b>Objetivos Específicos</b>                                                                                                             | <b>16</b> |
| <b>3.</b>   | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>                                                                                                             | <b>16</b> |
| <b>3.1.</b> | <b>Resíduos da Construção Civil</b>                                                                                                      | <b>16</b> |
| <b>3.2.</b> | <b>Aspectos Legais dos RCC No Brasil</b>                                                                                                 | <b>19</b> |
| 3.2.1.      | Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Nº 12.305/2010)                                                                               | 19        |
| 3.2.2.      | Política Estadual de Resíduos Sólidos (LEI Nº 14.236/2010)                                                                               | 24        |
| 3.2.3.      | Plano de Saneamento Básico Setorial para a Limpeza urbana e o Manejo dos Resíduos Sólidos do Município de Caruaru (Decreto Nº 037/ 2018) | 26        |
| <b>3.3.</b> | <b>Análise do Ciclo de Vida (ACV)</b>                                                                                                    | <b>27</b> |
| <b>4.</b>   | <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>                                                                                                               | <b>29</b> |
| <b>4.1.</b> | <b>Descrição da Área de Estudo</b>                                                                                                       | <b>29</b> |
| <b>4.2.</b> | <b>Fases Metodológicas</b>                                                                                                               | <b>33</b> |
| <b>5.</b>   | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>                                                                                                           | <b>40</b> |
| <b>5.1.</b> | <b>Revisão Sistemática de Literatura</b>                                                                                                 | <b>40</b> |
| 5.1.1.      | Análise Bibliométrica                                                                                                                    | 40        |
| 5.1.2.      | Análise Sistemática                                                                                                                      | 43        |
| <b>5.2.</b> | <b>Estimativa de Geração de RCC na Área de Estudo</b>                                                                                    | <b>45</b> |
| <b>5.3.</b> | <b>Análise do Ciclo de Vida</b>                                                                                                          | <b>46</b> |
| 5.3.1.      | Análise de Ciclo de Vida para o modelo de Disposição Final utilizado na Área de Estudo                                                   | 47        |
| 5.3.2.      | Análise de Ciclo de Vida para cenário de reciclagem                                                                                      | 52        |
| <b>6.</b>   | <b>RECOMENDAÇÕES</b>                                                                                                                     | <b>57</b> |
| <b>6.1.</b> | <b>Propostas de Melhoria na Gestão dos RCC</b>                                                                                           | <b>57</b> |
| <b>7.</b>   | <b>CONCLUSÕES</b>                                                                                                                        | <b>62</b> |

|                                                |            |
|------------------------------------------------|------------|
| <b>REFERÊNCIAS</b>                             | <b>64</b>  |
| <b>APÊNDICE A – TABELA 2 RESUMO DE REVISÃO</b> | <b>77</b>  |
| <b>APÊNDICE B – TABELA 3 RESUMO DE REVISÃO</b> | <b>102</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a Construção Civil ultrapassou o conceito básico de edificação, exigindo a aplicação de técnicas que levem em consideração diversos aspectos. Isso inclui garantir que as unidades habitacionais sejam projetadas levando em conta muito além dos fatores estéticos e estruturais, adicionando a estes outros tão fundamentais quanto os anteriores, como os fatores climáticos, econômicos, sociais e ambientais.

Hoje é necessário considerar o reúso eficiente da água, a implementação de redes de esgotamento sanitário, a utilização consciente de energia elétrica, a consideração de outros combustíveis e a destinação adequada dos Resíduos de Construção Civil (RCC).

Outro importante aspecto, da Construção Civil atual, é a influência dos avanços tecnológicos disponíveis e em evolução, constante nos últimos anos. Estas possibilidades vêm transformando a indústria construtiva, que evoluiu de processos de manufatura para o modelo atual, da indústria 4.0. Para Alizadehsalehi, Hadavi & Huang (2020), os avanços disponíveis na computação, como transferência de dados em tempo real, aprendizagem de máquina, inteligência artificial, entre outros, tornam a evolução desta um fenômeno inevitável.

Entre os avanços disponíveis é possível citar a tecnologia BIM (*Building Information Modeling*), como metodologia, que oferece a capacidade de criar, compartilhar, trocar e gerenciar informações ao longo de todo o ciclo de vida de um edifício, envolvendo todas as partes interessadas. Por meio do BIM, é possível criar modelos digitais tridimensionais que representam com precisão as características físicas e funcionais de uma construção, que ao longo do ciclo de vida do edifício permitem a tomada de decisões e estratégias para construção e manutenção da estrutura (Almenda e Bonaldo, 2023). Atualmente, é possível também, utilizar técnicas de impressão de estruturas baseadas na metodologia BIM, com isso praticamente zerar o desperdício de materiais e consequentes resíduos (Khan *et al.*, 2023).

A utilização de certificados de desempenho conhecidos como certificações ambientais, destacam-se como importantes avanços, que vêm ganhando adesão por parte das construtoras brasileiras. As certificações agregam valor aos empreendimentos,

e tornando-se uma estratégia de sustentabilidade relevante para os empreendedores (Otobo, Santana e Costa, 2016; Dos Santos, 2024).

Embora visíveis e possíveis, os avanços nos processos de construção no Brasil ainda carecem, em muitos casos, de significativos incrementos em relação à redução de impactos ambientais e eficiência de consumo. Para De Conto, Oliveira, & Ruppenthal (2017), os RCC, no Brasil, são destinados quase em sua totalidade aos aterros e manutenção de vias, indicando a ineficiência do gerenciamento de insumos e resíduos do setor, como descrito anteriormente pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2014).

Os Resíduos da Construção Civil (RCC), também denominados Resíduos de Construção e Demolição (RCD) são um problema latente em todo o mundo. Neste estudo optou-se por utilizar o termo RCC por ser a nomenclatura utilizada na legislação brasileira.

Esses resíduos são provenientes dos canteiros de obras, necessitam de grandes áreas em locais dedicados à sua destinação final, o que dificulta sua reciclagem. Na União Europeia, que lidera o movimento de proteção ao meio ambiente no mundo, a maioria de seus países membros reciclam menos de 50% dos RCCs, desta forma é possível inferir o agravamento da situação em países menos sustentáveis (EUROPEAN UNION, 2018).

O consumo de insumos, a geração de resíduos e a ineficiência da gestão destes promove a mudança no espaço natural e significativo impacto ambiental em todo Brasil. Para a ABRELPE (2022), em 2021 foram coletadas cerca de 48 milhões de toneladas de RCC no Brasil, indicando um crescimento de cerca de 2,9% em relação a 2020, equivalendo em média a 227 kg/hab/ano. No Nordeste a geração foi de cerca de 9,4 milhões de toneladas, correspondendo a 164,4 kg/hab/ano.

No Brasil, os RCC são definidos através da Resolução N° 307/2002 do CONAMA, oriundas de construções, reformas, reparos e demolições de obras de Construção Civil além dos resultados da preparação e escavação de terrenos (BRASIL, 2002). Estes materiais possuem elevado peso específico, que agregado ao alto potencial de geração contribuem para a redução da qualidade ambiental (BRASIL, 2021).



Diante desta problemática, em 2010, foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que dispõe de princípios e regulações com diretrizes sobre a gestão integrada e o gerenciamento de resíduos sólidos. Dentre as diversas classificações de resíduos, a PNRS regulamenta o manejo dos RCC e atribui que a União, os Estados e os Municípios devem trabalhar em conjunto para organização e o gerenciamento destes resíduos (BRASIL, 2010). Além disto, condicionou a liberação de recursos da União à elaboração de planos estaduais e municipais de resíduos sólidos.

O gerenciamento adequado dos RCC possibilita a redução de impactos ambientais associados, sendo uma das possibilidades ações efetivas de reciclagem (Rosado *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2019). A reciclagem de resíduos da Construção Civil é um processo que envolve várias etapas para recuperar materiais valiosos e reutilizá-los na indústria da construção (Portal Resíduos Sólidos, s.d.).

De acordo com a NBR 15113, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004), esses resíduos podem ser classificados em duas categorias principais: resíduos classe A e resíduos classe B. Os resíduos classe A são aqueles que têm potencial de reciclagem ou reutilização direta, como concreto, tijolos, cerâmicas e metais. Já os resíduos classe B são aqueles que não podem ser reciclados ou reutilizados diretamente, mas podem ser utilizados como insumos em processos industriais, como gesso, plásticos e vidros.

A quantificação dos Impactos Ambientais é definida pelas normas ISO 14040 e 14044 (ABNT, 2009a; 2009b), através da metodologia Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que possibilita a estimativa dos potenciais impactos ambientais ao longo de toda a vida do produto, através da análise dos fluxos de insumos e energia utilizadas na produção (Patouillard *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2019; Costa *et al.*, 2021). Segundo Costa *et al.* (2021), é possível analisar desde a extração, fabricação e destinação final dos recursos naturais através de 4 fases de estruturação da ACV: Definição de Objetivo e Escopo; Análise de Inventário; Avaliação de Impacto e Interpretação.

Segundo Silva *et al.* (2021), para a realização de estudos de ACV, também é importante delimitar os limites do sistema analisado, a fim de evitar a influência de fatores externos no estudo. Estes limites existem para permitir que soluções viáveis sejam encontradas, dada a imensidão de informações que compõem o sistema (ABNT, 2009b).

Para Kronemberger *et al.*, (2011) e Nagem *et al.*, (2021), o conceito de Saneamento Ambiental pode ser descrito como um conjunto de ações integradas com o objetivo de proteger e aprimorar as condições ambientais e de vida humana. Essas ações abrangem várias áreas, incluindo a coleta e disposição ou destinação adequada de resíduos sólidos e líquidos, o acesso ao abastecimento de água potável, a gestão e regulamentação do uso do território, intervenções para proteção e melhoria da qualidade de vida, controle de vetores e doenças transmissíveis, e a implementação de sistemas eficientes de drenagem urbana. O Saneamento Ambiental visa garantir um ambiente saudável e sustentável para as comunidades, promovendo o bem-estar e a segurança de seus habitantes.

Segundo o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS, 2021), a sustentabilidade das construções está baseada em 8 princípios:

1. Educação ambiental; 2. Gestão sustentável em todas as fases da obra; 3. Utilização racional do solo e integração com o ambiente local; 4. Uso de matérias-primas ecoeficientes; 5. Redução, reutilização, reciclagem e destinação correta dos resíduos sólidos; 6. Minimização de impactos no entorno; 7. Redução do consumo energético e hídrico; 8. Introdução de inovações tecnológicas viáveis.

A temática dos RCC também é relevante para que os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) sejam alcançados pela Organização das Nações Unidas, através do compromisso firmado pela Agenda 2030. A elaboração desta Agenda utilizou o conceito do *Triple Bottom Line* (Tripé da Sustentabilidade), atualmente o modelo proposto acrescenta os princípios de governança passando a ser nomeado por *Environmental, Social and Governance* (ESG), onde aspectos ambientais, econômicos e sociais são interrelacionados para a construção de políticas públicas de desenvolvimento sustentável (Corlett e Primack, 2011; Alsafi, Lemke e Yang, 2021; Lima, Seleme e Cleto, 2022).

Para isso, existem 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que abordam os principais desafios que as Nações devem enfrentar para erradicar a pobreza, preservar o meio ambiente e assegurar que as pessoas possam desfrutar do bem estar social (ONU, 2022). Assim, o descarte inadequado dos RCCs dificulta que os objetivos da Agenda 2030 sejam alcançados.

Os ODS servem como guia para o desenvolvimento de políticas públicas sustentáveis em todos os países signatários. Desta forma o presente estudo é estruturado na Agenda 2030, em especial nos ODS 9 (Indústria, inovação e infraestrutura); 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis); 12 (Consumo e produção sustentáveis); embora a íntima relação existente entre os objetivos leve a atender outras metas de forma indireta (Macarthur e Rasmunssen, 2018).

Realizando um recorte no Estado de Pernambuco, a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) de 2012, classifica-os RCCs de acordo com a PNRS. No que tange as responsabilidades administrativas, os estabelecimentos geradores de resíduos provenientes da Construção Civil são responsabilizados se provocarem ocorrências ambientalmente danosas ou que ponham em risco a saúde da população. No Estado de Pernambuco, a Agência Estadual de Meio Ambiente – CPRH, é a responsável legal para exigir que os municípios elaborem e apresentem as ações de segregação, acondicionamento, armazenamento, transporte, tratamento e destino final dos RCC (PERNAMBUCO, 2012).

No que tange ao município de Caruaru-PE, a PNRS e a PERS determinaram a elaboração do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS) no município. Assim, o Decreto Nº 037, de 17 de maio de 2018, que instituiu o PGIRS, explana que o município necessita de uma unidade de reciclagem de Resíduos de Construção Civil, com espaço para separação, deposição, processamento e armazenamento (CARUARU, 2018). Apesar desta necessidade, o município não possui uma central de tratamento de RCC pública, utilizando estrutura privada, que está localizada em uma área afastada da zona urbana, encarecendo o transporte dos RCC e aumentando as emissões atmosféricas nos deslocamentos.

Diante do exposto, torna-se necessário conhecer efetivamente as características de geração de RCC, em cidades de pequeno e médio porte, como no caso de Caruaru e possibilitar a gestão efetiva destes resíduos. Sendo assim, o presente trabalho pretende suprir esta lacuna e, conseqüentemente, fornecer uma base teórica para implantação de políticas públicas no município.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Aplicar ferramentas de Análise de Ciclo de Vida para propor melhorias no modelo de gestão dos RCC em cidades de pequeno e médio porte: Estudo de caso na cidade de Caruaru-PE.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- a) Realizar revisão sistemática de literatura sobre o tema proposto;
- b) Levantar dados sobre a geração de RCC na área de estudo;
- c) Realizar avaliação de impactos ambientais através da metodologia ACV e ICV;
- d) Propor melhorias no atual modelo de gestão de RCC para o município.

## **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **3.1 Resíduos de Construção Civil**

Inicialmente os rejeitos e resíduos sólidos são definidos na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, Lei Nº 12.305/2010), em seu Art. 3º, Capítulo II (Definições):

XV - Rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada;

...

XVI - Resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível;

Outra definição possível para os Resíduos Sólidos vem através da norma brasileira NBR 10.004/04 (ABNT, 2004a), que os define como aqueles que em estado sólido ou semissólido, resultantes das atividades de origem industrial, doméstica, agrícola, do setor de serviços e de varrição, os lodos de tratamento de água e os líquidos que apresentem inviabilidade de lançamento em sistemas de esgotamento ou corpos d'água, esgotadas as alternativas econômicas e tecnológicas de tratamento.

A PNRS classifica os resíduos de duas formas, quanto à origem e periculosidade. Nela os RCC são classificados, quanto à origem, como os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de Construção Civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis. Esta definição reaparece indiretamente na Resolução CONAMA 307/10:

Considerando que os geradores de resíduos da Construção Civil devem ser responsáveis pelos resíduos das atividades de construção, reforma, reparos e demolições de estruturas e estradas, bem como por aqueles resultantes da remoção de vegetação e escavação de solos.

Já em relação à periculosidade, os resíduos classificados na PNRS são definidos como aqueles que:

Em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica, sendo os não perigosos aqueles que não se enquadram nessa definição.

Compreende-se claramente que os RCC se apresentam nas duas classes de definição de periculosidade da PNRS, o que se torna mais evidente observando a classificação presente no Art. 3º da Resolução CONAMA 307/10:

**Classe A** - enquadram-se os resíduos que podem ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados. Estes resíduos são provenientes, em definição, de obras de demolição, reformas, reparos de pavimentação, obras de infraestrutura, solos de terraplanagem, componentes cerâmicos, argamassas, concretos, peças de concreto, entre outros.

**Classe B** - enquadram-se os resíduos que podem ser recicláveis em outros setores industriais, a exemplo de materiais plásticos, papeis, papelão, metais, vidros, madeiras, entre outros.

**Classe C** - enquadram-se os resíduos que ainda não possuem tecnologias que permitam alternativas de reciclagem ou reúso viáveis economicamente. É possível citar

nessa classe os resíduos de peças de gesso, algumas espumas, peças de poliestireno expandido (EPS), entre outros. Desta forma os RCC definidos na classe podem ser definidos como rejeitos na PNRS.

**Classe D** – enquadram-se os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, como sólidos e líquidos inflamáveis, corrosivos, contaminados por radiação, entre outros, a exemplo de tintas e solventes, óleos, graxas, resíduos de reformas industriais ou de unidades de saúde. Deste modo, os resíduos desta Classe em relação à periculosidade da PGRS, estão classificados como perigosos, enquanto os das demais classes como não perigosos.

Outro importante ponto a ser observado é a destinação ambientalmente adequada para os resíduos, definida pela PNRS, que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação, o aproveitamento energético, disposição final, de forma a evitar o risco à saúde pública e minimizar os impactos ambientais. Conceitualmente a PNRS define:

**Disposição final ambientalmente adequada:** distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

**Logística reversa:** ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada;

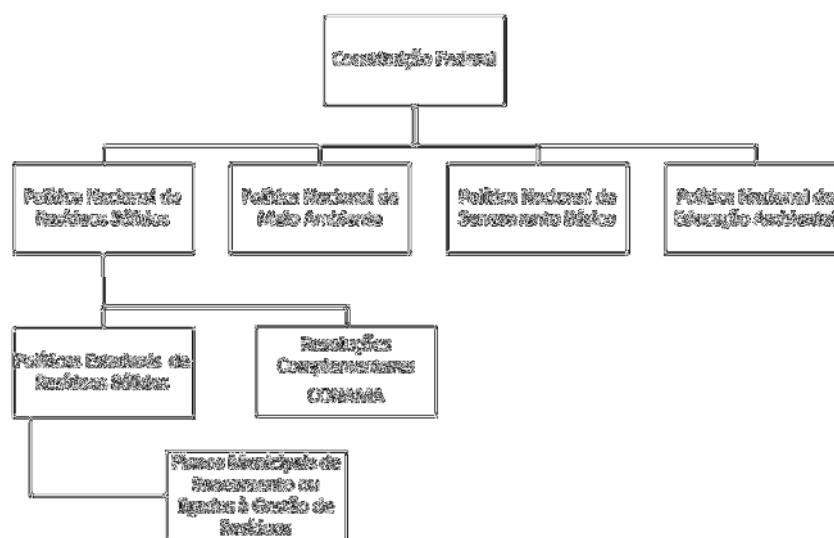
**Reciclagem:** processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos reguladores do sistema.

**Reutilização:** processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos reguladores do sistema.

## 3.2 Aspectos Legais dos RCC no Brasil

Aqui pretende-se apresentar definições e detalhes da Legislação relativa aos RCC no Brasil, observando a hierarquia legal nas 3 esferas: Federal (PNRS) e Resoluções Complementares; Estadual (PERS); Municipal (PGIRS). Desta forma, deve-se observar a hierarquização dos princípios legais em relação aos RCC, conforme observados na Figura 1.

**Figura 1-** Arcabouço legal da Política de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos.



Fonte: Os Autores; (2024).

### 3.2.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Nº 12.305/ 2010)

A PNRS dispõe de **princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes** que definem a gestão dos resíduos sólidos brasileiros. Ela, em seu escopo, estrutura as responsabilidades da gestão pública:

- **Governo Federal**, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados e Municípios: gerir o Sistema e desenvolver o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, com vigência por prazo indeterminado e horizonte de 20 (vinte) anos, a ser atualizado a cada 4 (quatro) anos;

- **Estados e Distrito Federal:** Desenvolver os planos Estaduais para vigência por prazo indeterminado, abrangendo todo o território do Estado, com horizonte de atuação de 20 (vinte) anos e revisões a cada 4 (quatro) anos, promover a integração da gestão de resíduos, controlar e fiscalizar as atividades dos geradores sujeitas ao licenciamento ambiental, apoiar e priorizar as iniciativas municipais de soluções consorciadas ou compartilhadas, manter atualizados os sistemas previstos nas ferramentas de gestão.
- **Municípios:** Desenvolver os planos de gestão locais, promover a integração da gestão de resíduos, manter atualizados os sistemas previstos nas ferramentas de gestão, promover a educação ambiental dos munícipes.
- **Geradores:** são responsáveis pela implementação e operacionalização integral do plano de gerenciamento de resíduos sólidos.

Desta forma, mesmo aqueles com relação indireta, desempenham papel de estruturar as ferramentas economicamente viáveis para as garantias de preservação ambiental e de saúde da população. Está definido que mesmo com a participação dos Estados e Municípios, estes não podem promover ações em desacordo com os órgãos reguladores externos, previstos na estrutura de gestão de resíduos federativos. Excluem-se os rejeitos radioativos, por possuírem legislação específica para a gestão.

A PNRS prevê a adoção de legislação complementar estabelecida pelo Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS), do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA) e do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (SINMETRO). Além da articulação prevista entre ela e as Políticas Nacional de Educação Ambiental e Federal de Saneamento Básico.

Em suas definições destacam-se:

**Acordo setorial:** ato de natureza contratual firmado entre o Poder Público e entidades de caráter privado, com o objetivo de garantir a responsabilidade pelo ciclo de vida do produto.



**Ciclo de vida do produto:** série de etapas que envolvem o desenvolvimento do produto, a obtenção de matérias-primas e insumos, o processo produtivo, o consumo e a disposição final.

**Coleta seletiva:** coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição.

**Geradores de resíduos sólidos:** pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, que geram resíduos sólidos por meio de suas atividades, nelas incluído o consumo.

**Gestão integrada de resíduos sólidos:** conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável.

**Responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos:** conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas para produtores, consumidores e gestores públicos com o objetivo de reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos.

A PNRS é estruturada em princípios fundamentais de prevenção, de bonificação para os protetores ambientais, sanções para poluidores, visão holística da gestão de resíduos, sustentabilidade, eficiência ambiental, cooperação e responsabilidade compartilhada, consciência de valor para os resíduos, proporcionalidade, respeito à regionalidade, transparência e controle social.

Além disso apresenta objetivos relacionados à proteção à saúde pública, proteção ambiental, manejo de resíduos e consumo, estímulo à sustentabilidade, gestão integrada e regular de resíduos, integração de catadores, estímulo a ACV, desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental.

Para que isto seja alcançado, a PNRS prevê a utilização de diversos instrumentos de gestão, destacando-se:

- Planos de Resíduos Sólidos;
- Inventários e o Sistema Declaratório Anual de Resíduos Sólidos;

- Coleta seletiva, os sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
  - Incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;
  - Monitoramento e a fiscalização ambiental, sanitária e agropecuária;
  - Pesquisa científica e tecnológica;
  - Educação Ambiental;
  - Incentivos fiscais, financeiros e creditícios;
  - Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR);
  - Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA);
  - Conselhos de meio ambiente e, no que couber, os de saúde;
  - Órgãos colegiados municipais destinados ao controle social dos serviços de resíduos sólidos urbanos;
  - Instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente.
- ...

A PNRS define a hierarquia entre os processos gerenciais relativos aos resíduos de forma a garantir os princípios de sustentabilidade:

- Não geração;
- Redução;
- Reutilização;
- Reciclagem;
- Tratamento dos resíduos sólidos;
- Disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

A PNRS proíbe a destinação inadequada de resíduos e rejeitos, e atividades nas áreas de disposição final como:

- Lançamento em praias, no mar ou em quaisquer corpos hídricos;
- Lançamento *in natura* a céu aberto, excetuados os resíduos de mineração, sendo esses obrigados a garantir a proteção de corpos hídricos;
- Queima a céu aberto ou em recipientes, instalações e equipamentos não licenciados para essa finalidade;
- Utilização dos rejeitos dispostos como alimentação;
- Catação, exceto aquelas definida por sistemas de gestão;
- Criação de animais domésticos;
- Fixação de habitações temporárias ou permanentes;
- Importação de resíduos sólidos perigosos, rejeitos, e aqueles que causem danos ao meio ambiente, à saúde pública e animal.

Em auxílio à PNRS encontram-se as normas brasileiras regulamentares (NBRs) relativas ao tema. Estas definem o regramento de manejo, em áreas de transbordo e triagem, projetos de aterros, áreas de reciclagem e destinação dos RCC:

- **NBR 15.112/04:** Resíduos da Construção Civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.
- **NBR 15.113/04:** Resíduos sólidos da Construção Civil e resíduos inertes. Aterros. Diretrizes para projeto, implantação e operação.
- **NBR 15.114/04:** Resíduos sólidos da Construção Civil. Áreas de reciclagem. Diretrizes para projeto, implantação e operação.
- **NBR 15.115/04:** Agregados reciclados de resíduos sólidos da Construção Civil. Execução de camadas de pavimentação. Procedimentos.

- **NBR 15.116/04:** Agregados reciclados de resíduos sólidos da Construção Civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.

### 3.2.2 Política Estadual de Resíduos Sólidos (Lei Nº 14.236/ 2010)

A PERS do Estado de Pernambuco estrutura as ações para a gestão dos resíduos produzidos no Estado além dos princípios, objetivos, instrumentos, responsabilidades e instrumentos econômicos relativos, inclusive prevendo a possibilidade de parcerias com o setor privado para implementação das atividades. Desta forma o PERS de Pernambuco demonstra a construção em consonância com a PNRS, estabelecendo detalhes regionais que não se contrapõem àquela.

Inicialmente utiliza os conceitos, instrumentos e diretrizes presentes e descritos na PNRS e define como princípios:

- Atendimento dos princípios de Redução, Reutilização e Reciclagem (3Rs);
- Incentivo, conscientização e motivação às práticas de redução, reutilização e tratamento de resíduos sólidos, bem como, da destinação final ambientalmente adequada;
- Desenvolvimento de processos que busquem a alteração dos padrões de produção, consumo sustentável e consciente de produtos e serviços;
- Integração com as políticas sociais dos governos federal, estadual e municipais;
- Acesso da sociedade aos serviços de limpeza urbana;
- Adoção do princípio do poluidor-pagador e protetor-recebedor;
- Integração dos catadores de materiais recicláveis;
- Responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
- Incentivo a reciclagem;
- Transparência, participação e controle social;
- Responsabilidade do descarte pela coletividade e poder público;
- Proteção e valorização de mulheres que integram o fluxo organizado de resíduos sólidos.

O PERS descreve como objetivos:

- Proteger o meio ambiente, garantir o uso racional dos recursos naturais e estimular a recuperação de áreas degradadas;
- Implementar a gestão integrada de resíduos sólidos;
- Fomentar a cooperação interinstitucional para o gerenciamento dos resíduos sólidos;
- Promover ações de educação ambiental, especialmente quanto ao descarte adequado dos resíduos por parte da coletividade;
- Promover ações voltadas à inclusão social de catadores de materiais recicláveis;
- Erradicar o trabalho infantil nas ações que envolvam o fluxo de resíduos sólidos;
- Disseminar informações relacionadas à gestão dos resíduos sólidos;
- Fomentar a implantação do sistema de coleta seletiva nos municípios;
- Priorizar nas aquisições governamentais os produtos recicláveis e os reciclados;
- Estimular a regionalização da gestão dos resíduos sólidos;
- Fomentar a cooperação intermunicipal, estimulando a busca de soluções consorciadas para gestão de resíduos sólidos;
- Incentivar a pesquisa, o desenvolvimento, a adoção e a divulgação de novas tecnologias de reciclagem e compostagem, tratamento, destinação e disposição final de resíduos sólidos, inclusive de prevenção à poluição;
- Fomentar a maximização do aproveitamento dos resíduos orgânicos para a compostagem;
- Desenvolver projetos, programas e ações de empoderamento, empreendedorismo, qualificação e proteção de mulheres que integram o fluxo organizado de resíduos sólidos.

O Sistema Estadual de Gestão de Resíduos Pernambucano tem as atribuições descritas no PERS:

**Conselho Estadual do Meio Ambiente:** CONSEMA, ou sucedâneo, com as atribuições de supervisionar a implementação do Sistema e, quando necessário, fixar normas complementares;

**Secretaria de Ciência Tecnologia e Meio Ambiente:** SECTMA, com atribuições de coordenar e implementar o Sistema e, articular com outras instituições e municípios a efetivação dos objetivos preconizados na Política;

**Agência Estadual de Meio Ambiente:** CPRH, com atribuições de licenciamento, fiscalização e monitoramento das atividades relacionadas aos resíduos sólidos;

**Demais Órgãos Estaduais Previstos:** Vigilância Sanitária das três esferas de governo, Secretaria das Cidades, Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos, Agência Pernambucana de Águas e Clima, Secretaria de Planejamento e Gestão, Secretaria de Saúde, Secretaria de Educação, Secretaria da Fazenda, Secretaria de Turismo, Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Agência Estadual de Planejamento e Pesquisa de Pernambuco, ou sucedânea, órgãos ou entidades municipais atuantes na área de resíduos sólidos, com atribuições de complementar as ações mencionadas nos incisos anteriores.

Em relação ao incentivo e fomento das ações, em Pernambuco a PERS prevê a utilização dos seguintes recursos:

- Doações de qualquer natureza, que sejam decorrentes de ações de responsabilidade social e ambiental de empresas privadas;
- Taxas advindas de serviços prestados e produtos extraídos, produzidos, beneficiados ou comercializados nas unidades de tratamento e destinação final;
- Taxas advindas de serviços prestados a terceiros pelas unidades de tratamento e destinação final dos resíduos;
- Recursos do ICMS socioambiental;
- Fundos nacional, estadual e municipais de meio ambiente;
- Multas decorrentes de infrações na área de resíduos sólidos;
- Recursos internacionais;
- Política de incentivo fiscal e financeiro às indústrias recicladoras de resíduos sólidos, as que promovem a sua adequada destinação e as que utilizem matéria-prima reciclada no seu processo produtivo.

### 3.2.3 Plano de Saneamento Básico Setorial para a Limpeza Urbana e o Manejo dos Resíduos Sólidos do Município de Caruaru (Decreto Nº 037/ 2018)

O PGIRS do município apresenta como objetivo revisar o Plano de Saneamento Básico Setorial para a Limpeza Urbana e o Manejo dos Resíduos Sólidos do Município de Caruaru a fim de diagnosticar a situação atual da prestação dos serviços de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos e contribuir para a organização da gestão e

condições para a prestação dos serviços de abastecimento de forma a que cheguem a todo cidadão, integralmente, sem interrupção e com qualidade.

Inicialmente apresenta o diagnóstico do gerenciamento de resíduos no município e caracteriza a localidade de forma a demonstrar as ações existentes, necessárias ou previstas para implantação no sistema.

Sem grandes variações em relação às PNRS e PERS, o decreto apresenta em seu anexo ações consonantes aos planos citados de forma clara e equitativa.

### 3.3 Análise de Ciclo de Vida (ACV)

A Análise do Ciclo de Vida (ACV), ou *Life Cycle Assessment* (LCA), é uma ferramenta utilizada para avaliar o impacto ambiental de um produto, processo ou serviço ao longo de todas as etapas do seu ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas, passando pela produção, distribuição, uso e disposição final (Teixeira, 2021).

Ainda para Teixeira (2021), a ACV considera todos os aspectos ambientais relevantes, tais como consumo de recursos naturais, emissões atmosféricas, geração de resíduos, consumo de energia, entre outros.

Ela busca quantificar e avaliar esses impactos, possibilitando uma compreensão abrangente dos aspectos ambientais associados a um determinado produto ou processo.

O objetivo principal da ACV é fornecer informações para orientar a tomada de decisões mais sustentáveis, permitindo a identificação de pontos críticos no ciclo de vida do produto ou processo, bem como oportunidades de melhoria ambiental.

Com base nos resultados da ACV, é possível comparar diferentes alternativas e identificar medidas para reduzir os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida (ABNT, 2009a).

Segundo a ABNT (2009a), a ACV segue as seguintes etapas principais:

**1. Definição do objetivo e escopo:** Determina-se o propósito da análise e quais serão os limites considerados, como quais etapas do ciclo de vida serão avaliadas e quais impactos serão abordados;

**2. Levantamento de dados:** Coleta-se informações sobre as diferentes etapas do ciclo de vida, incluindo dados de fornecedores, processos de produção, transporte, uso e disposição final;

**3. Avaliação de impacto:** Os dados coletados são convertidos em indicadores de impacto ambiental, por meio do uso de modelos e metodologias específicas;

**4. Interpretação:** Os resultados são analisados e interpretados, considerando os objetivos da ACV. Podem ser identificados pontos críticos, oportunidades de melhoria e comparados diferentes cenários;

**5. Comunicação dos resultados:** Os resultados da ACV são divulgados para os *stakeholders* relevantes, com o objetivo de informar sobre o desempenho ambiental e fornecer subsídios para a tomada de decisões.

A ACV é uma ferramenta amplamente utilizada em diferentes setores, como indústria, agricultura, Construção Civil, entre outros, auxiliando na busca por soluções mais sustentáveis e na redução do impacto ambiental ao longo do ciclo de vida dos produtos e processos (Wahrlich, 2020).

Para Rebitzer *et al.* (2004), a ACV apresenta-se em duas possibilidades de abordagem:

**ACV Consequencial:** leva em consideração as consequências de mudanças no sistema produtivo e de consumo, nela são analisados os efeitos indiretos que ocorrem em resposta às mudanças de demanda ou oferta resultantes da introdução de um novo produto, tecnologia ou política.

Essa abordagem leva em consideração os efeitos de substituição, deslocamento e ampliação que podem ocorrer em um sistema complexo.

**ACV Atribucional:** se concentra em atribuir impactos ambientais e a eficiência de recursos a um produto, processo ou serviço específico. Nessa abordagem, os impactos ambientais são atribuídos diretamente às atividades específicas ao longo do ciclo de vida do produto, sem considerar as interações complexas do sistema em questão.

Nela são identificadas as entradas de recursos naturais, como energia, água, matérias-primas, e as saídas de resíduos e emissões ao longo das diferentes etapas do



ciclo de vida. Essas entradas e saídas são quantificadas e avaliadas com base em dados específicos e em modelos e metodologias padronizadas.

Para Bower (2010) e a ABNT (2009a), a ACV necessita da definição de intervalo de análise da fase de vida, corte, do sistema a ser avaliado nos seguintes intervalos:

***From-cradle-to-grave (do berço ao túmulo):*** são avaliados todos os impactos, desde a produção de insumos até o final da vida e destinação final do produto;

***From-cradle-to-gate (do berço ao portão):*** neste corte são avaliados os impactos que vão do início ao final produção, excluindo as fases de meio e fim de vida;

***From-cradle-to-cradle (do berço ao berço):*** neste formato de corte a avaliação estende-se até a reciclagem do produto, ou seja, da produção de insumo para o produto primário até este se tornar insumo de novos produtos;

***From-gate-to-gate (do portão ao portão):*** o intervalo avalia apenas os impactos do processo de produção, sem avaliar a produção de insumos, o uso e destinação;

Para justificar a aplicação da ACV neste projeto, pode-se relacioná-lo com o ODS 12, pois o consumo e produção do setor da Construção Civil devem ser responsáveis e o ODS 13, que trata sobre ações contra a mudança global do clima.

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 Descrição da Área de Estudo**

A escolha do Município de Caruaru-PE como área de estudo ocorre devido a sua importância econômica para o Estado, além do apoio e interesse da Autarquia de Urbanização e Meio Ambiente de Caruaru (URB) em identificar e aferir os impactos ambientais da geração e destinação final dos RCC.

Para analisar a problemática dos RCC no município, a aplicação de ferramentas de gestão ambiental é extremamente necessária e com isso possibilitar a mitigação de danos ambientais conforme observado nas Figuras 2 e 3.

**Figura 2-** Descarte irregular às margens do Rio Ipojuca - Caruaru-PE.



Fonte: Os autores, (2024).

**Figura 3-** Resíduo de RCC no Leito do Rio Ipojuca - Caruaru-PE.

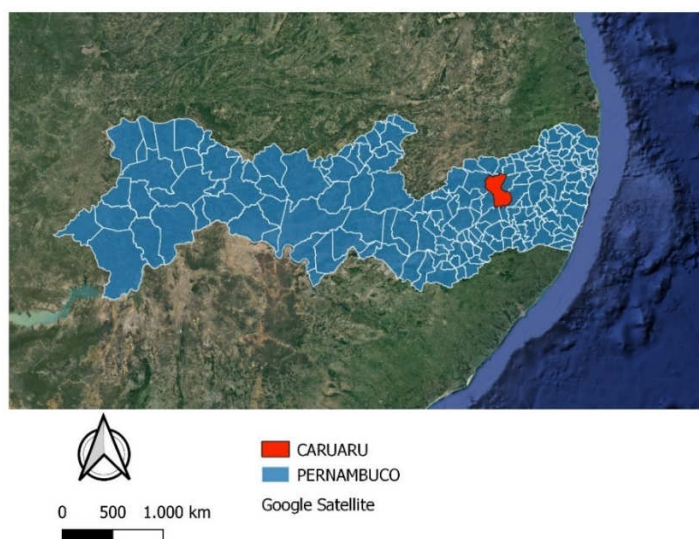


Fonte: Os autores, (2024).

Caruaru situa-se na parte Oriental da América do Sul, na região Nordeste do Brasil, com coordenadas geográficas Latitude: 08° 17' 00" S e Longitude: 35° 58' 34" W, e altitude de 554m (Geógrafos, 2023).

Em relação ao posicionamento em relação ao Estado, o município está situado na Mesorregião do Agreste Pernambucano e Microrregião do Vale do Ipojuca, observado na Figura 4, com área aproximada de 923,150 km<sup>2</sup> (IBGE, 2021; IBGE, 2022). O município possui classificação de Capital Regional B (2B), correspondendo a sua importância entre os municípios do interior do Estado (IBGE, 2018).

**Figura 4-** Localização do município de Caruaru no Estado de Pernambuco.

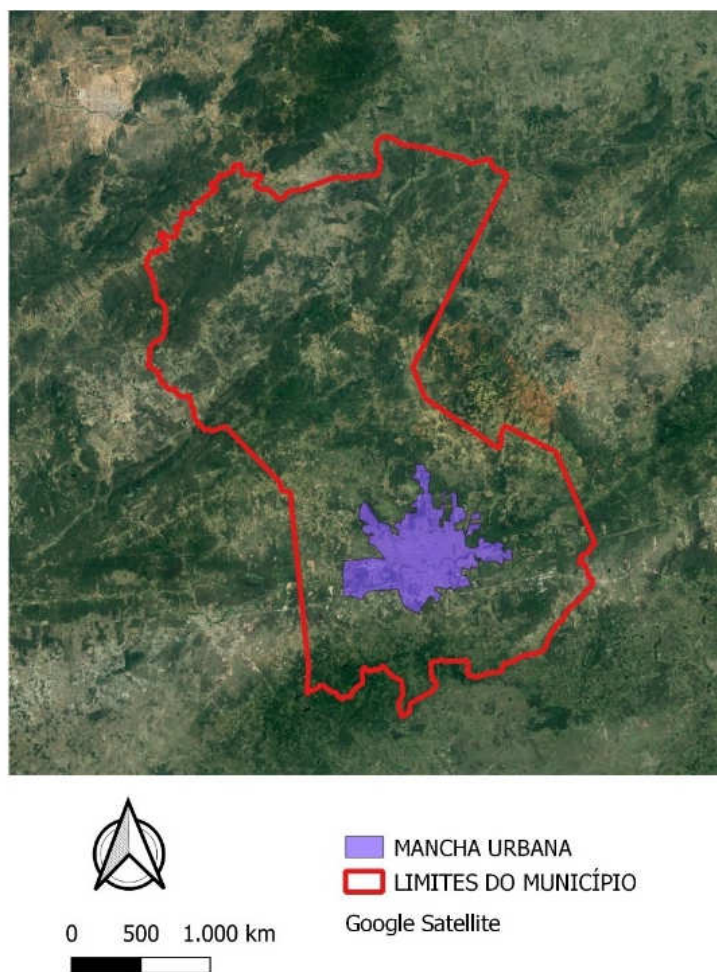


Fonte: Os Autores, (2024).

Segundo o IBGE (2023), Caruaru possui uma população de 378.052 habitantes, o que representa uma densidade demográfica de 409,52 hab/km<sup>2</sup>. Ainda para o instituto, 22,3% da população encontra-se ocupada com renda média de 1,7 salários mínimos e o produto interno bruto (PIB) *per capita* de R\$ 20.582,25, sendo possível inferir a concentração de renda por parte da população analisada.

Em relação aos indicadores ambientais, o IBGE (2019), descreve que 59% da área do município é urbanizada (Figura 5), embora apenas 3,4% das vias públicas possuam estruturas urbanas, é possível inferir que a porção Central do município, apresente maior grau de infraestruturas urbanas, enquanto que áreas afastadas desta não possuam estruturas como pavimentação de vias, calçadas, entre outros (IBGE, 2010).

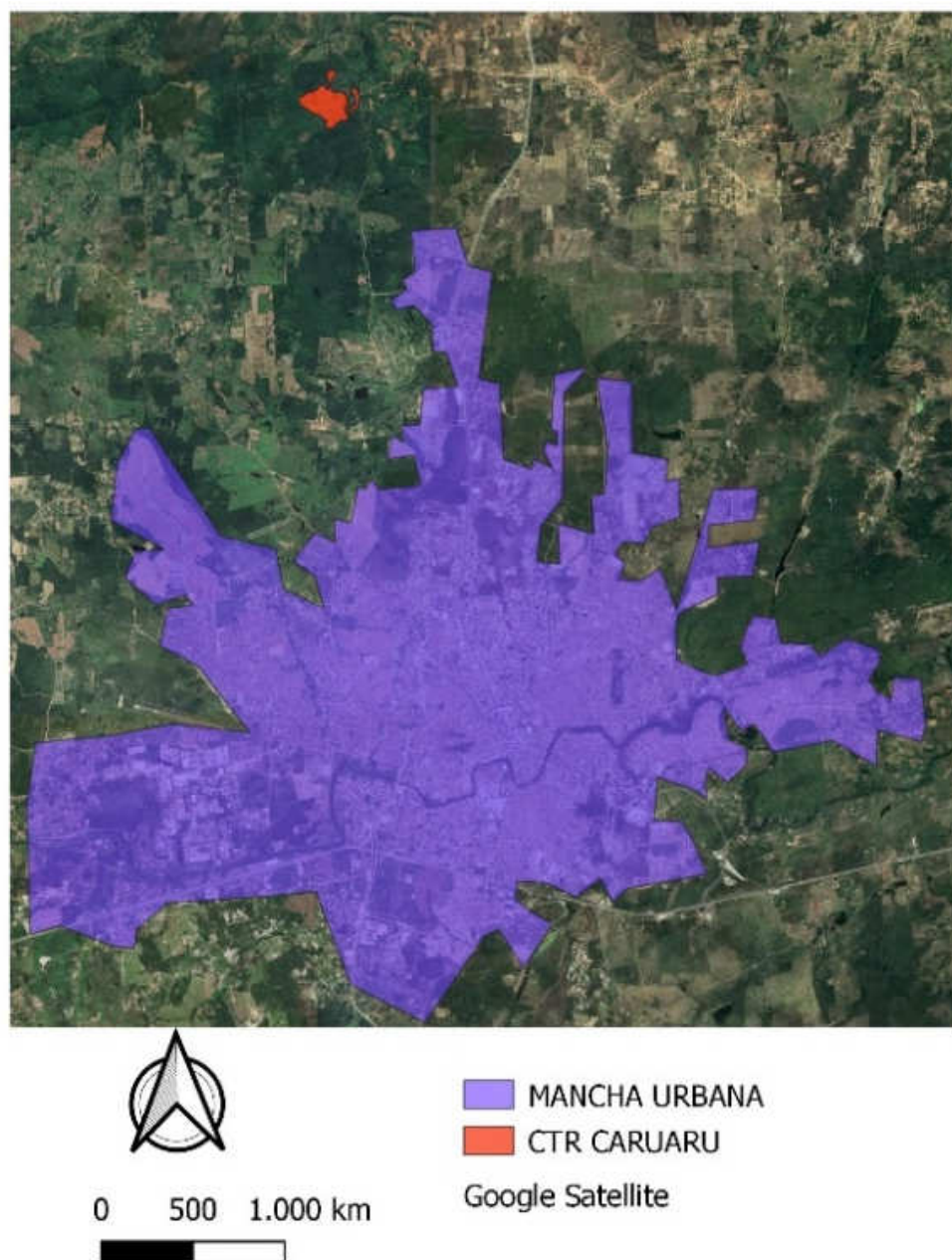
**Figura 5** - Mancha urbana do Município de Caruaru.



Fonte: Os Autores, (2024).

Observa-se na Figura 6 a Central de Tratamento de Resíduos, localizada na Zona Rural de Caruaru, Aterro Sanitário de administração privada, que atende diversos municípios da Região Agreste.

**Figura 6-** Localização CTR Caruaru.



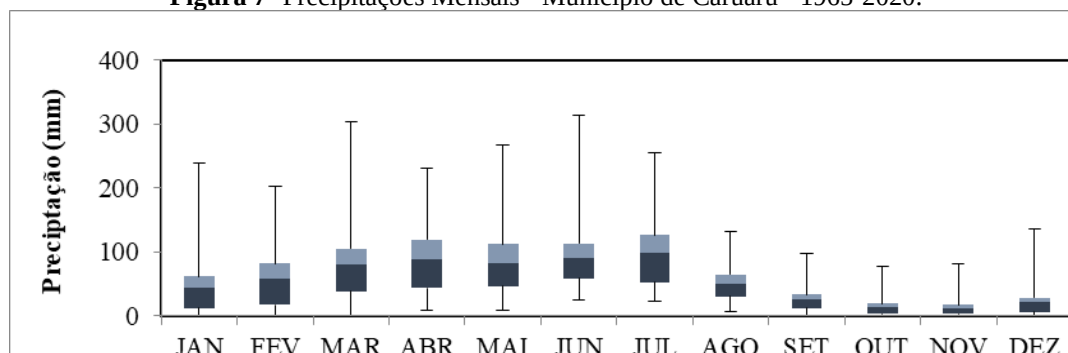
Fonte: Os Autores, (2024).

Em relação ao clima, o município encontra-se na região semiárida pernambucana, onde as precipitações são, na maioria dos meses, inferiores à evapotranspiração média, agravando as condições de oferta e, conseqüentemente, refletindo no cenário de extremo déficit hídrico (Arruda Neto *et al.*, 2019; Arruda Neto *et al.*, 2022).



As precipitações no município apresentam alta dispersão entre as médias mensais históricas, quadro que retrata a possibilidade de eventos extremos, secas e enchentes. Para este estudo é pertinente observar, na Figura 7, os cinco meses do segundo semestre com precipitações médias históricas abaixo de 100 mm.

**Figura 7-** Precipitações Mensais - Município de Caruaru - 1965-2020.



Fonte: O autor, presente em Arruda Neto et al., (2022).

A compreensão da área do município é fundamental para observar que o potencial econômico aliado a importância do município na região promove o seu crescimento urbano. Este fato aliado à observação das imagens, permite inferir que nos próximos anos a mancha urbana possivelmente aumentará sendo necessário compreender os consequentes impactos ambientais construtivos causados.

## 4.2 Fases Metodológicas

Para a realização do estudo foram distribuídas as atividades conforme fases metodológicas específicas, com o intuito de atender ao pretendido nos objetivos específicos. Desta forma o trabalho consiste nas etapas abaixo descritas:

### a) - Revisão Sistemática de literatura sobre o tema proposto

**Análise Principal** – Foi realizada a primeira busca de artigos da seguinte forma:

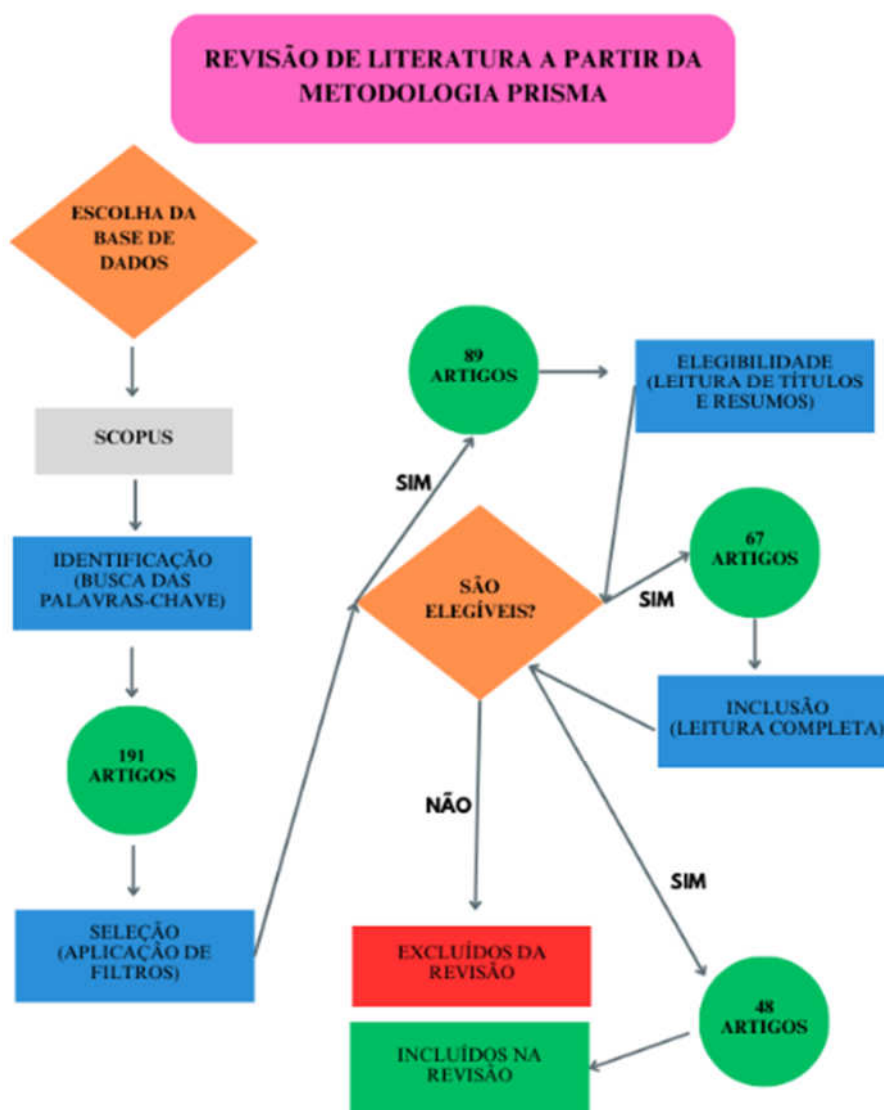
Para realização da revisão de literatura, a pesquisa foi estruturada em três etapas distintas: 1 – análise quantitativa, 2 – meta-análise e 3 – análise qualitativa.

Na Etapa 1 ou análise quantitativa, as publicações foram pesquisadas na base de dados *Scopus*. O acesso à plataforma ocorreu através do Ministério da Educação

(MEC), pelo portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). A escolha da base *Scopus* ocorreu pela reconhecida importância científica do veículo de indexação.

Como ferramenta metodológica de escolha dos artigos foi utilizada a metodologia PRISMA (Moher *et al.*, 2009), observada na Figura 8, visando facilitar a busca e, consequentemente, definir artigos de maior relevância.

**Figura 8** – Fluxograma da Metodologia Prisma.



Fonte: Os autores, 2024.

A metodologia foi dividida em quatro fases:

- **Identificação:** foram pesquisadas as palavras-chave: *life cycle analysis* ou *LCA* associada às expressões *construction waste* ou *construction and demolition waste* associadas à expressão *environmental impacts*. A primeira etapa resultou em 191 artigos elegíveis para análise.

- **Seleção:** nesta etapa são aplicados filtros de refinamento de pesquisa:
- **Tempo de publicação:** 5 anos (2019-2023);
- **Área de assunto:** limitado aos grupos pertinentes;
- **Tipo de documento:** publicações especificamente no formato artigo;
- **Estágio de publicação:** final, ou seja, artigos já publicados;
- **Palavras chaves:** limitadas aos grupos pertinentes;
- **Tipo de publicações:** definidos os artigos publicados especificamente em revistas;
- **Linguagem:** definidos os idiomas de publicação em inglês e português;

Após este refino restaram 89 artigos elegíveis à revisão.

- **Elegibilidade:** neste momento foram lidos títulos e resumos dos artigos encontrados no intuito de excluir os documentos que não possuíam relação direta com o estudo. Após esta análise restaram apenas 67 artigos.

- **Inclusão:** após os processos anteriores foi possível fazer a leitura dos artigos definidos integralmente com a redução do número de trabalhos encontrados, tornou-se mais fácil ler todos eles na íntegra e excluir algum que ainda fugisse do tema, com isso foram excluídos 19 artigos, restando 48 aptos a serem utilizados na revisão de literatura e matriz de análise.

**Análise Complementar** – A revisão complementar de literatura foi realizada de forma similar à **Análise Principal**. Com o intuito de avaliar outro banco de indexação optou-se pela análise quantitativa.

Na análise quantitativa, as publicações foram pesquisadas na base de dados *Web of Science*. O acesso à plataforma ocorreu através do Ministério da Educação (MEC), pelo portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Para a escolha dos artigos, igualmente, foi utilizada a metodologia PRISMA (Moher *et al.*, 2009) da seguinte maneira:

**1. Identificação:** para esta fase foram utilizadas as palavras-chave idênticas às da Análise principal. A primeira etapa resultou em 583 artigos elegíveis para análise.

**2. Seleção:** esta etapa foi realizada de maneira similar à Análise Principal. Após este refino restaram 72 artigos elegíveis à revisão.

**3. Elegibilidade:** neste momento foram lidos títulos e resumos dos artigos encontrados no intuito de excluir os documentos que não possuíam relação direta com o estudo, e aqueles que já encontrados na Análise Principal. Após esta análise restaram apenas 14 artigos.

**4. Inclusão:** igualmente realizada conforme a Análise principal os artigos elegíveis na etapa anterior foram lidos integralmente, sendo excluídos aqueles que não pertenciam ao escopo da revisão, restando 8 artigos.

Na etapa 2, ocorreu a meta-análise dos artigos da Análise principal, onde uma série de informações relacionadas aos artigos estavam agrupados em uma tabela. Todos os 48 títulos apresentaram dados importantes, como o nome dos autores, o resumo, o ano de publicação, o país de origem, entre outros. Estas informações foram analisadas com auxílio do *software VosViewer*, que foi capaz de elaborar mapas tendo os dados da rede como base.



Na etapa 3 a análise qualitativa foi realizada através do mesmo *software*, onde as redes bibliométricas apresentam círculos que definem o impacto do item na análise a depender do seu tamanho e arcos que representam a relação entre itens interligados. Com isso, redes com base na coautoria, em citações e na coocorrência foram elaboradas a fim de mapear os autores; seus países e as possíveis conexões entre eles; artigos; periódicos; palavras-chave; entre outros.

## **b) Levantamento de dados sobre a geração de RCC na área de estudo;**

Para Paz (2019), a quantificação de RCC no Brasil e em países em desenvolvimento ainda é bastante complexa, visto a significativa parcela de pequenos geradores e consequente insuficiência de dados de geração destes. Ainda para o autor, ficou evidenciado em sua pesquisa a utilização da metodologia proposta por Pinto e González (2005), para a estimativa de geração de RCC a partir de três fontes de dados:

- Estimativa através do cálculo utilizando o parâmetro de áreas licenciadas;
- Estimativa através do cálculo de transporte;
- Estimativa através do cálculo de volume em áreas de destino final.

Desta forma foi escolhida a estimativa através da disposição final, obtida pelos dados informados ao Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos (SINIR), sendo o ano base 2020. Relevante informar que não foram utilizados dados mais modernos visto o lapso temporal de alimentação do Sistema.

Os dados obtidos foram em ton/ano de RCC destinados ao aterro sanitário localizado no município.

Durante o estudo, buscou-se também a coleta de dados nos órgãos municipais ligados ao tema, entretanto a falta de padronização de coleta de dados, problemas de arquivamento, entre outros fatores discutidos adiante, trouxeram incerteza quanto à qualidade dos dados. Desta forma foi tomada a decisão da não utilização destes. Além disso, a metodologia descrita por Pinto e Gonzáles (2005), utiliza dados de 4 anos de licenciamentos, fator que possivelmente seria influenciado pela Pandemia de Covid 19, visto a descontinuidade dos serviços de licenciamento no intervalo.

### c) Avaliação de Impactos Ambientais através da Metodologia ACV e ICV

A execução do projeto seguiu as recomendações das NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044, cujo escopo e o objetivo do estudo são a análise da gestão pública dos Resíduos Sólidos da Construção Civil em Caruaru-PE (ABNT, 2009a; ABNT, 2009b).

Será utilizada como unidade funcional a massa de RCC produzida em toneladas dos RCC na cidade de Caruaru-PE. Já o fluxo de referência é a geração e destinação final dos Resíduos Sólidos da Construção Civil na cidade de Caruaru-PE, durante o período de 3 anos.

Para a elaboração do Inventário de Ciclo de Vida serão avaliados os principais resíduos presentes na Resolução CONAMA nº 307/2002. Logo após, o inventário deverá ser analisado e os resultados preliminares deverão ser extraídos para validação no momento da simulação.

A simulação deverá ocorrer com o auxílio do *software* SimaPro, pois é capaz de quantificar as emissões geradas pelos RCC em diversas categorias de impacto (Mudança Climática, Acidificação Terrestre, Toxicidade Humana e Ecotoxicidade Terrestre) com metodologia normatizada conforme descrito por ABNT (2009a) e ABNT (2009b), através dos métodos *Recipe Midpoint* versão 1.04 de 2016 inventário mundo de 2010 e CML-IA *Baseline* versão 3.06 com inventário Europeu 25.

A escolha dos métodos foi definida pela característica de ambos, os métodos do tipo *midpoint* são baseados na avaliação ambiental a partir de mudanças iniciais. O método CML utiliza valores médios globais e europeus para quantificação dos impactos, enquanto o método *Recipe* utiliza parâmetros globais, com constante atualização, como descrito por Huijbregts *et al.*, (2016). Desta forma a definição dos dois métodos possibilita uma análise mais ampla, consequentemente mais próxima da encontrada no cenário brasileiro.

Os indicadores avaliados foram definidos com base no potencial de impacto previsto para os inventários, fator confirmado após a avaliação, onde o próprio *software Simapro* aponta os principais impactos estimados.

Serão avaliados 2 cenários hipotéticos de destinação, em um deles o resíduo será destinado integralmente para o aterro sanitário localizado no município, no outro o RCC

será totalmente reciclado. A escolha dos cenários foi realizada para possibilitar a discussão do comparativo entre o modelo de gestão utilizado atualmente e alternativas de destinação com melhores desempenhos ambientais.

Por fim, a análise de sensibilidade será utilizada para identificar mudanças nos resultados, se os parâmetros da análise forem modificados, como: períodos pré-pandemia e pós-pandemia; mudança no local de destinação final dos RCC e metodologias de cálculo diferentes.

Para avaliação do impacto serão avaliados os principais resíduos pertencentes às classes da Resolução CONAMA 307/2002, conforme a Tabela 1, a partir da criação de Inventário de Ciclo de Vida (ICV).

**Tabela 1** - Resíduos classificados para ACV.

| CLASSE | Definição                            | Resíduos por Classe CONAMA 307/2002 |                          |                      |                     |         |
|--------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|----------------------|---------------------|---------|
| A      | Reutilizáveis como Agregados         | Cerâmica Vermelha                   | Cerâmica de Revestimento | Argamassa            | Concreto            | Solos   |
| B      | Recicláveis para outros destinos     | Plástico                            | Papelão                  | Metais               | Vidro               | Madeira |
| C      | Sem aplicações de reciclagem viáveis | Gesso                               | EPS                      | Sacos de Cimento     |                     |         |
| D      | Perigosos                            | Esmaltes                            | Solventes                | Resíduos com Amianto | Emulsões asfálticas |         |

Fonte: Os autores, 2024.

#### **d) Proposta de melhorias no atual modelo de gestão de RCC para o município.**

Para a realização deste objetivo será ofertada ao Poder Público Municipal cópia do trabalho final de Dissertação apresentando o panorama de impactos ambientais causados pela geração de RCC na localidade e discussão sobre alternativas que possibilitem a melhoria na gestão destes pelos órgãos públicos.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

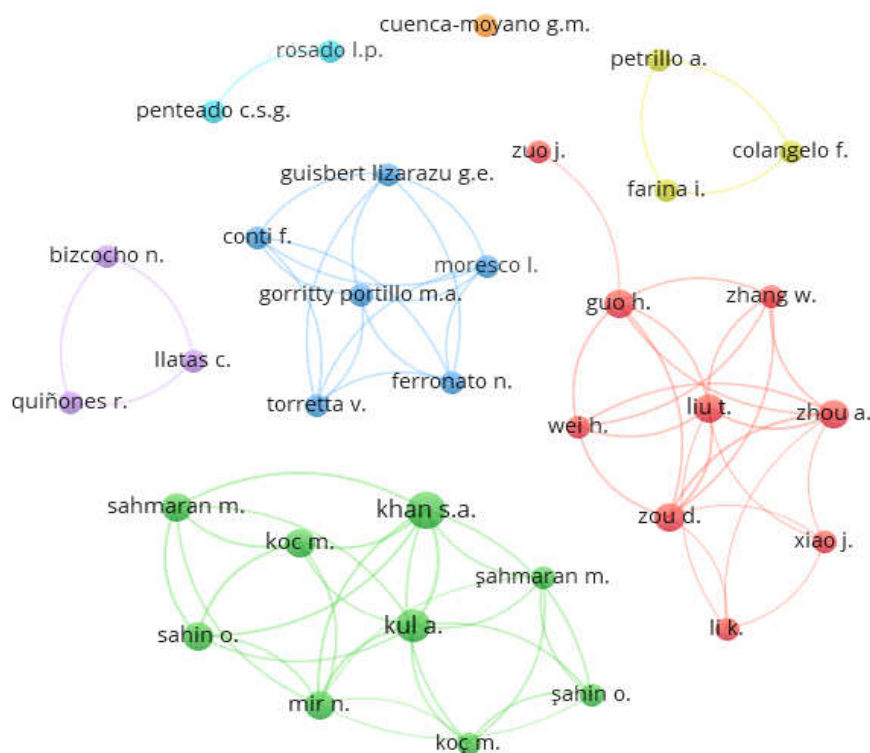
### 5.1 Revisão Sistemática De Literatura

A revisão de literatura foi, por questões didáticas, dividida de forma quantitativa e qualitativa, conforme descrito. Foram avaliados 48 artigos nacionais e internacionais utilizando a metodologia PRISMA com auxílio do *software VosViewer* conforme achados a seguir.

#### 5.1.1 Análise Bibliométrica

A partir do estudo bibliométrico foi possível analisar a rede de autoria e observar que os estudos avaliados foram produzidos por 188 autores e que estes estavam dispostos em 10 grupos de relação de pesquisa conforme observado na Figura 9. Para garantir a produtividade dos autores foi determinado o mínimo de 3 artigos produzidos, com isso é possível inferir que Khan (2022a; 2022b; 2023) foi o mais influente na amostra analisada.

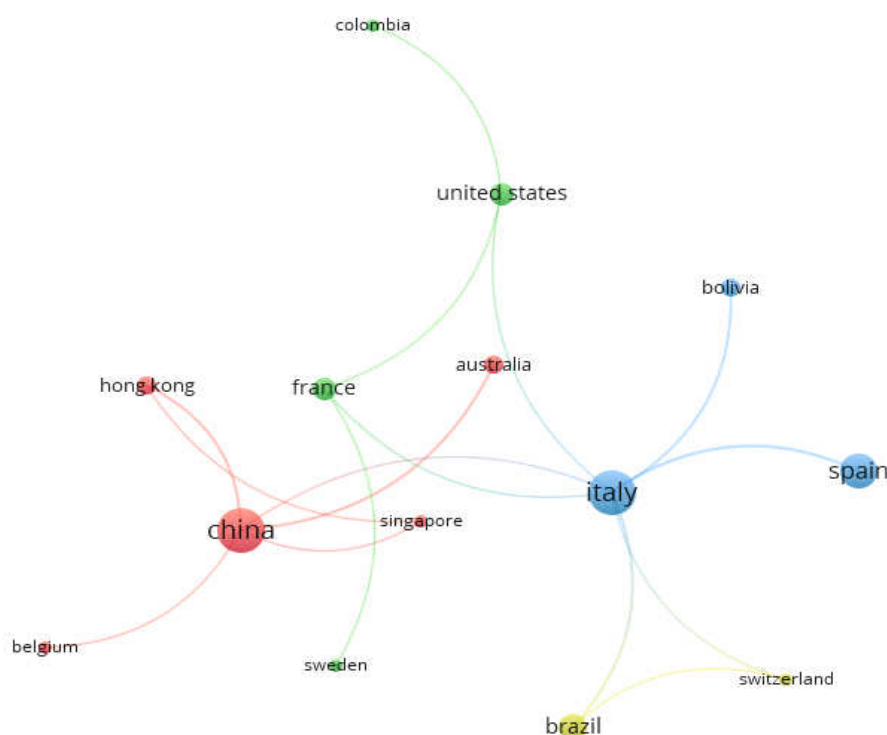
**Figura 9-** Rede de Autores.



Fonte: Os Autores, (2024).

Durante a análise de origem foi observado a Itália e a China como países com maior número de publicações, com 11 documentos e 250 e 292 citações do país, respectivamente, conforme a Figura 10. O Brasil apareceu com 4 publicações e 64 citações. Tal análise permite inferir que os países com maior número de publicações possuem pesquisas com maior maturidade em relação aos demais, desta forma o Brasil pode ser considerado como iniciante em relação ao tema, mas o número de citações mostra a importância dos trabalhos desenvolvidos.

**Figura 10** - Países com pesquisas relacionadas.



Fonte: Os Autores, (2024).

Foram observadas 604 palavras-chave indexadas, destas 55 aparecem em pelo menos 5 artigos da amostra, conforme observado na Figura 11. Utilizando o destaque na expressão resíduos de Construção Civil é possível observar a relação entre o termo e as demais palavras indexadas conforme observado na Figura 12.

A mesma estratégia de visualização foi repetida para o termo relativo à ACV obtendo-se a Figura 13, observando-a é possível perceber a relação da ACV com os diversos tipos de RCC, gestão, impactos produzidos e estratégias de redução.







encontram-se os de Sistemas de Informação Geográfica (GIS), os *softwares* que utilizam metodologia BIM e finalmente os *softwares* de avaliação de impactos ambientais como GABI e principalmente o SIMAPRO (Mousavi; Ventura e Antheaume, 2020; Li *et al.*, 2020; Su *et al.*, 2021; Jalaei; Zoghi E Khoshand, 2021; Aman *et al.*, 2022; Llatas; Quiñones e Bizcocho, 2022).

Em diversos artigos é possível observar a reciclagem dos RCC para produção de agregados utilizáveis na produção de concretos e como material de leito e subleito de rodovias, isso aponta para uma possível solução aplicável e viável para os resíduos. É possível observar que em ensaios os agregados de RCC mostraram características mecânicas e químicas adequadas a essa aplicação (Cuenca-Moyano *et al.*, 2019; Pavlu; Koci e Hájek, 2019; Yazdanbakhsh e Lagouin, 2019; Colangelo *et al.*, 2020; Mousavi; Ventura e Antheaume, 2020; Agrela *et al.*, 2021; Colangelo, Petrillo e Farina, 2021; Lachat *et al.*, 2021; Mostert *et al.*, 2021; Zhao *et al.*, 2021; Zhou *et al.*, 2021; Zhao *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2020; Ruiz *et al.*, 2022; Haider *et al.*, 2022; Khan *et al.*, 2022a; Ulucan e Alyamac, 2022; Yu *et al.*, 2022; Chica *et al.*, 2023; Mir *et al.*, 2023; Nežerka *et al.*, 2023; Volk *et al.*, 2023).

Em alguns trabalhos foi observado que a locação das centrais de gerenciamento de RCC é fator crucial para a redução de impactos, sendo o consumo de energias necessárias ao transporte de alta relevância para ACV, bem como a energia utilizada nos processos de separação e beneficiamento de agregados, tal afirmação contribui para que novas centrais de tratamento avaliem as distancias e rotas entre os pontos de maior geração dos RCC e a matriz energética a ser utilizada. Para este estudo esse achado é bastante relevante por proporcionar a motivação de definir um ponto ótimo para a criação de central no município de estudo (Rosado e Penteado, 2019b; Yazdanbakhsh e Lagouin, 2019; Ferronato *et al.*, 2022; Khan *et al.*, 2022).

Na revisão foi possível observar a preocupação com a sustentabilidade e impactos ambientais em todos os artigos avaliados, um achado considerado bastante importante foi a preocupação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável presentes na Agenda 2030 da ONU, esta observação ratifica a utilização desta ferramenta na construção deste estudo (Colangelo; Petrillo e Farina, 2021).

Entre as preocupações evidenciadas foram observados o aquecimento global e a necessidade de reduzir as emissões de carbono nos processos de ciclo de vida na



Construção Civil, foram apresentadas as potencialidades de emissão do setor. Fator preocupante do estudo embora a redução do consumo e os métodos de reúso e reciclagem sejam apontados pelo forte potencial na mitigação deste indicador (Colangelo *et al.*, 2020; Mostert *et al.*, 2021; Zhou *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2022).

Além da reciclagem foi observado em alguns estudos que o conceito de Economia Circular se mostrou bastante eficiente na melhoria ambiental, social e econômica. Aqui destaca-se a importância econômica dos RCC e a promissora indústria de geração de insumos reciclados, que potencializam a economia e geração de renda, socialmente os benefícios observados estão ligados a geração de emprego e consequente melhoria social das comunidades do entorno (Ghisellini *et al.*, 2021; Iodice *et al.*, 2021; Ruiz *et al.*, 2022).

Entre os estudos brasileiros foram observadas duas importantes iniciativas no Estado de São Paulo pela gestão de RCC, especialmente de aço, vidro e materiais plásticos, ratificada pela ACV e resultados que apontam para uma redução de cerca de 22% dos impactos ambientais promovidos por RCC, em um cenário atual de 70% de gestão dos resíduos (Rosado e Penteado, 2019a; Rosado e Penteado, 2019b).

A partir da leitura dos artigos foi possível apresentar, de forma resumida, as atividades desenvolvidas pelos autores na Análise Principal e Complementar, conforme as Tabelas presentes nos Apêndices A e B.

## **5.2 Estimativa de Geração de RCC na Área de Estudo**

A partir dos dados obtidos junto ao SINIR foi identificado que em 2020 o município de Caruaru destinou ao aterro sanitário 13.689,2 toneladas (SINIR, 2024). Destaca-se que esse valor encontrado, não representa a geração total, visto a influência dos descartes irregulares e insuficiência de ferramentas de controle por parte do Poder Público (Paz, 2019). Na Tabela 2 observam-se os dados de disposição e consequente geração *per capita* dos municípios do Nordeste com aterros sanitários com recebimento de RCC.

A partir do observado é possível fazer algumas inferências no tocante à geração, por exemplo, o município de Alagoinhas, situado no estado da Bahia, compreendendo no período uma população de pouco mais de 13.000 habitantes teve no mesmo período

uma geração superior a 940 kg/hab. Uma geração desta grandeza pode indicar que o aterro situado no município atende outras comunidades geradoras de RCC da região, com isso os índices de geração *per capita* baseados na destinação aos aterros geram uma necessidade de cautela em sua utilização. Por outro lado, os municípios de Paranaguá, Pedra Branca e Ibimirim apresentam valores de destinação *per capita* inferiores a 10 (kg/hab/ano), cerca de oito vezes menor que a produção nacional. É possível inferir que nestes cenários existem problemas de destinação, como por exemplo subnotificações ou disposições irregulares.

Em relação ao município de Caruaru observou-se destinação de cerca de 36,21 kg/hab/ano para o aterro sanitário. Destaca-se que este valor tem grande potencial de ser inferior ao real, entretanto a calibração deste quantitativo não é objetivo deste estudo, sendo sua principal meta a caracterização dos impactos dos RCC por unidade funcional de uma tonelada.

**Tabela 2** - Geração *per capita* no Nordeste.

| Localidade          | Estado | Geração (ton/ano) | População   | Geração Kg/hab |
|---------------------|--------|-------------------|-------------|----------------|
| BRASIL              |        | 3.100.000         | 37.100.000* | 83,56          |
| PARNAGUÁ            | PI     | 48,00             | 10.103      | 4,75           |
| PEDRA BRANCA        | PB     | 260,00            | 40.187      | 6,47           |
| IBIMIRIM            | PE     | 216,00            | 26.593      | 8,12           |
| CARUARU             | PE     | 13.689,20         | 378.048     | 36,21          |
| TEOFILÂNDIA         | BA     | 910,00            | 21.176      | 42,97          |
| MOMBAÇA             | CE     | 2.000,00          | 37.735      | 53,00          |
| FORTALEZA           | CE     | 186.510,20        | 2.428.708   | 76,79          |
| NATAL               | RN     | 60.534,00         | 751.300     | 80,57          |
| FEIRA DE SANTANA    | BA     | 60.000,00         | 616.272     | 97,36          |
| SALGUEIRO           | PE     | 8.921,00          | 62.372      | 143,03         |
| MACEIÓ              | AL     | 173.135,00        | 957.916     | 180,74         |
| MOSSORÓ             | RN     | 50.000,00         | 264.577     | 188,98         |
| PAULISTA            | PE     | 80.204,60         | 342.167     | 234,40         |
| IRECÊ               | BA     | 19.540,00         | 74.507      | 262,26         |
| CAMAÇARI            | BA     | 145.750,00        | 300.372     | 485,23         |
| ITATIM              | BA     | 8.110,00          | 15.737      | 515,35         |
| ALAGOINHAS          | BA     | 12.960,00         | 13.725      | 944,26         |
| *População atendida |        |                   |             |                |

Fonte: Os autores, 2024.

### 5.3 Análise de Ciclo de Vida

Para definição dos cenários de avaliação de impacto foram utilizados os resultados gravimétricos contidos em Resende (2023), obtidos através de coleta de

dados no aterro sanitário de Rio Verde-GO, ajustados para uma amostra de 1 tonelada, conforme observado na Tabela 3.

**Tabela 3** - Cenário de avaliação proposto.

| <b>Material</b>               | <b>Peso (kg)</b> | <b>%</b>       |
|-------------------------------|------------------|----------------|
| Areia, cascalho e pedra       | 300,0            | 30,00%         |
| Concreto                      | 246,7            | 24,67%         |
| Argamassa                     | 245,0            | 24,50%         |
| Resíduos de cerâmica vermelha | 181,0            | 18,10%         |
| Amianto                       | 13,2             | 1,32%          |
| Madeira                       | 5,6              | 0,56%          |
| Papel                         | 3,4              | 0,34%          |
| Plástico                      | 2,6              | 0,26%          |
| Ferro                         | 2,5              | 0,25%          |
| <b>Total</b>                  | <b>1.000,0</b>   | <b>100,00%</b> |

Fonte: Os autores, 2024, adaptado de Resende (2023).

Para uma segunda análise o cenário gravimétrico foi expandido para o montante estimado de geração para o município, ou seja, foi realizada a multiplicação para obtenção do volume de RCC encontrado na pesquisa, conforme observado na Tabela 4.

**Tabela 4** - Inventário de geração estimado.

| <b>Material</b>               | <b>Peso (T)</b> |
|-------------------------------|-----------------|
| Areia, cascalho e pedra       | 41.067,6        |
| Concreto                      | 33.771,2564     |
| Argamassa                     | 33.538,54       |
| Resíduos de Cerâmica Vermelha | 24.777,452      |
| Amianto                       | 1.806,9744      |
| Madeira                       | 766,5952        |
| Papel                         | 465,4328        |
| Plástico                      | 355,9192        |
| Ferro                         | 342,23          |
| <b>Total</b>                  | <b>136.892</b>  |

Fonte: Os autores, 2024.

### 5.3.1 Análise de Ciclo de Vida para o Modelo de Disposição Final Utilizado na Área de Estudo

Na Figura 14 observam-se os impactos gerados por 1 tonelada de RCC, disposta no aterro sanitário, baseada no inventário proposto. O método Recipe apresenta que os resíduos provenientes de argamassas, chapiscos, emboços e similares apresentam maiores impactos ambientais em quatro das seis categorias avaliadas (Aquecimento Global, Ecotoxicidade Terrestre, Toxicidade Humana Não Cancerígena e Consumo de Água), conforme observado em Zhou *et al.*, 2023; De Lara e Penteado, 2024 e Gonçalves Júnior *et al.*, 2024.

Este resultado está ligado às cadeias de produção de compostos cimentícios, que apresentam acentuada demanda energética e emissões atmosféricas de CO<sub>2</sub>, estimada em cerca de 90% de toda emissão da Indústria da Construção Civil (De Sales Braga, Junior e Barata, 2023).

Visualmente é evidente a influência dos resíduos de subprodutos de cimento Portland no impacto total encontrado, devendo estar presente em ações de controle ambiental (De Lara e Penteado, 2024).

Em seguida aparecem os resíduos cerâmicos, que apresentam maiores impactos nas duas categorias restantes (Ecotoxicidade Marinha e Escassez de Recursos Fósseis), conforme observado na Tabela 5.

É possível inferir que o consumo de Diesel (combustível fóssil), alavanque este resultado por estar presente na produção e, principalmente, no transporte desde o berço deste item do inventário, resultado equivalente descrito por Guven e Kayalica, (2024).

A toxicidade marinha foi avaliada, mesmo a área de estudo não sendo uma localidade litorânea pela possibilidade de outros municípios se atentarem a este indicador e consequentemente não o excluïrem de suas análises.

Ainda para esta análise é possível observar, entre os itens avaliados, que os resíduos de amianto apresentaram o menor impacto para o aquecimento global enquanto os resíduos plásticos apresentam resultados não significativos nas demais categorias.

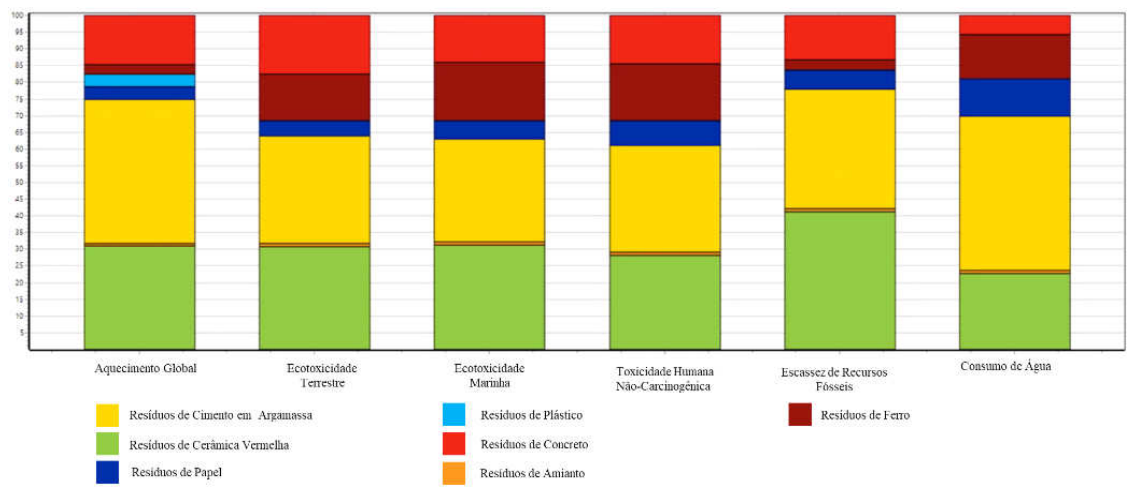
Destaca-se que a partir do ano de 1995, no Brasil, é proibido extrair, produzir, industrializar e comercializar actinolita, amosita, antrofilita, crocidolita e tremolita, substâncias comercialmente conhecidas como asbestos ou amiantos (BRASIL, 1995). Desta forma, é possível que as quantidades destes materiais no estudo gravimétrico de Resende (2023) aparecem pequenas, entretanto o potencial carcinogênico destes compostos é amplamente conhecido na literatura científica (Viana *et al.*, 2024; Dias e Pontes, 2024; De Macedo *et al.*, 2024; Dos Santos Menezes, Nascimento e Gadelha, 2024).

Para os resultados da ACV é possível inferir que as quantidades pequenas destes itens no estudo gravimétrico, corroborem com os resultados. Os resíduos de madeira e os provenientes de agregados, areia, cascalho, pedra e similares não apareceram nos resultados por não apresentarem valores significativos na análise, quando comparados

aos demais itens do inventário, esta situação foi observada em todas as análises e cenários deste estudo (Abedin Khan; Balunaini e Costa, 2024).

É possível inferir que os resultados de baixo impacto se devem ao fato de que estes itens são utilizados na construção civil praticamente *in natura*, sem beneficiamento industrial estão seu impacto, na maioria das vezes, ligados ao transporte (Rosado e Pentead, 2019b; Yazdanbakhsh e Lagouin, 2019; Ferronato *et al.*, 2022; Khan *et al.*, 2022; Abedin Khan; Balunaini e Costa, 2024).

**Figura 14-** Análise de 1 ton de RCC, *Recipe 2016 Midpoint (H) V 1.04 World 2010 (H)*.



Fonte: Os Autores (2024)

**Tabela 5 -** Análise de 1 ton RCC, *Recipe 2016 Midpoint (H) V 1.04 World 2010 (H)*.

| Inventário de Resíduos | Aquecimento Global | Ecotox. Terrestre | Ecotox. Marinha | Toxicidade Humana Não-Cancer. | Escassez de Recursos | Consumo de Água |
|------------------------|--------------------|-------------------|-----------------|-------------------------------|----------------------|-----------------|
|                        | (Kg CO2)           | (kg)              | (kg)            | (kg)                          | (Kg Óleo)            | (m³)            |
| Cimentícios            | 82,82              | 96,99             | 1,06            | 30,12                         | 12,32                | 105,53          |
| Cerâmicos              | 59,73              | 91,80             | 1,08            | 26,47                         | 14,28                | 51,95           |
| Papel                  | 7,41               | 13,49             | 0,19            | 6,87                          | 2,02                 | 25,20           |
| Plástico               | 7,12               | 0,00              | 0,00            | 0,00                          | 0,00                 | 0,00            |
| Concreto               | 28,40              | 52,43             | 0,48            | 13,58                         | 4,56                 | 12,76           |
| Amianto                | 1,13               | 2,80              | 0,03            | 0,83                          | 0,31                 | 2,31            |
| Ferro                  | 5,16               | 41,51             | 0,61            | 15,87                         | 1,06                 | 30,80           |
| TOTAL                  | 191,77             | 299,02            | 3,44            | 93,75                         | 34,56                | 228,56          |

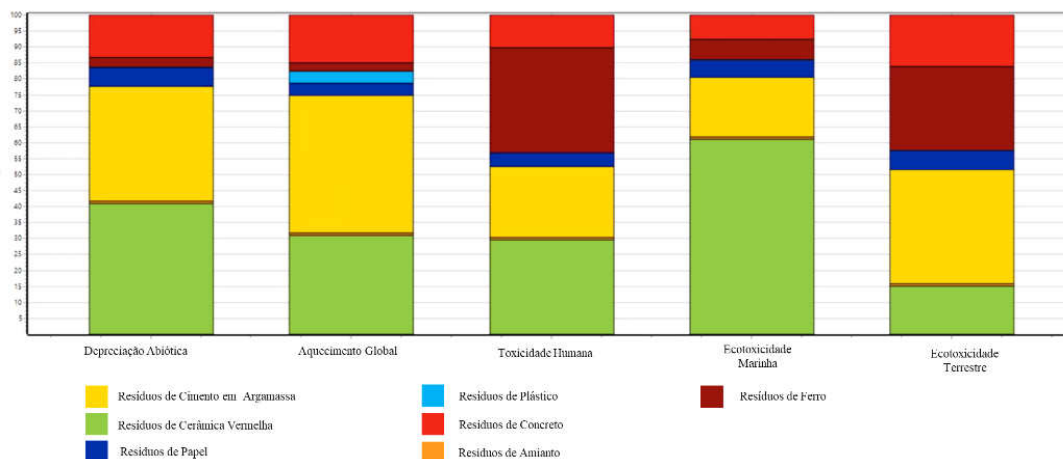
Fonte: Os Autores (2024)

Na Figura 15 observam-se os impactos pelo mesmo inventário, 1 tonelada, através do método CML-IA. Dois materiais apresentam maiores impactos em duas categorias, os resíduos cerâmicos (Depressão Abiótica e Ecotoxicidade Marinha) e os resíduos cimentícios (Aquecimento Global e Ecotoxicidade Terrestre); enquanto que os resíduos

de ferro apresentaram maior impacto em uma categoria (Toxicidade Humana), presente na Tabela 6.

Mais uma vez os resíduos de Amianto e Plástico se mostraram menos impactantes que os demais presentes, consequência do apresentado anteriormente.

**Figura 15** - Análise de 1 ton RCC, CML-IA *Baseline* V 3.06 EU 25.



Fonte: Os Autores (2024)

**Tabela 6** - Análise de 1 ton RCC, CML-IA *Baseline* V 3.06 EU 25.

| Inventário de Resíduos | Depreciação Abiótica | Aquecimento Global    | Toxicidade Humana | Ecotox. Marinha | Ecotox. Terrestre |
|------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
|                        | (MJ)                 | (kg CO <sub>2</sub> ) | (kg)              | (T)             | (kg)              |
| Cimentícios            | 527,72               | <b>81,85</b>          | 12,52             | 30,35           | <b>0,108</b>      |
| Cerâmicos              | <b>600,92</b>        | 59,02                 | 16,66             | <b>98,49</b>    | 0,046             |
| Papel                  | 86,17                | 7,23                  | 2,34              | 8,73            | 0,018             |
| Plástico               | <b>0,00</b>          | 7,12                  | <b>0,00</b>       | <b>0,00</b>     | <b>0,000</b>      |
| Concreto               | 194,96               | 28,17                 | 5,65              | 12,30           | 0,048             |
| Amianto                | 13,24                | <b>1,10</b>           | 0,34              | 0,87            | 0,002             |
| Ferro                  | 45,94                | 5,04                  | <b>18,54</b>      | 10,11           | 0,079             |
| <b>TOTAL</b>           | <b>1468,95</b>       | <b>189,54</b>         | <b>56,06</b>      | <b>160,89</b>   | <b>0,301</b>      |

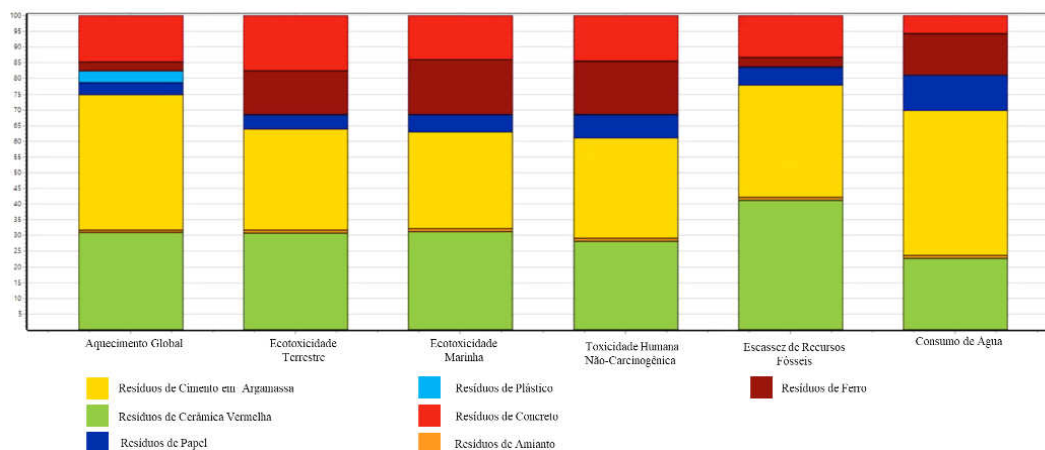
Fonte: Os Autores (2024)

A expansão da análise para o volume total estimado mostrou comportamento equivalente a unidade funcional, conforme observado na Figura 16 e Tabela 7, este resultado aponta linearidade para o cenário proposto, desta forma é possível utilizar-se deste artifício para avaliar cidades onde se conheça a geração, reduzindo assim a dificuldade em novos estudos equivalentes, equivalente observado em Bardini *et al.*, 2023.

Apesar da linearidade observada visualmente, indica-se que em outros estudos sejam reavaliados todos os itens. A linearidade observada deve ser tratada como

indicador, um norte, e não como regra geral, sendo necessário estudo comparativo entre ACVs similares para detectar a veracidade do achado.

**Figura 16** - Análise do RCC estimado, *Recipe 2016 Midpoint (H) V 1.04 World 2010 (H)*.



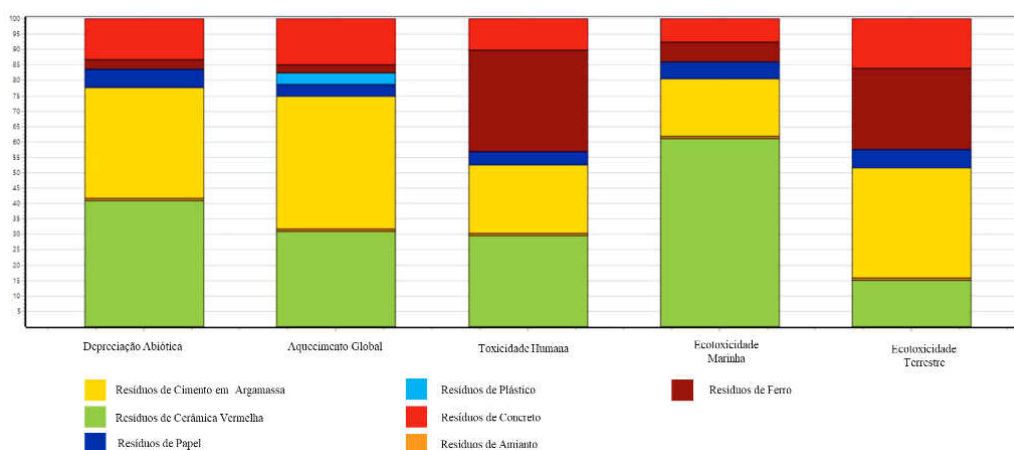
Fonte: Os Autores (2024)

**Tabela 7** - Análise do RCC estimado, *Recipe 2016 Midpoint (H) V 1.04 World 2010 (H)*.

| Inventário de Resíduos | Aquecimento Global<br>(T CO <sub>2</sub> ) | Ecotox. Terrestre<br>(T) | Ecotox. Marinha<br>(T) | Toxicidade Humana Não-Cancer.<br>(T) | Escassez de Recursos<br>(T Óleo) | Consumo de Água<br>(m <sup>3</sup> ) |
|------------------------|--------------------------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| Cimentícios            | 1133,72                                    | 1327,75                  | 14,44                  | 412,31                               | 168,67                           | 1444654,7                            |
| Cerâmicos              | 817,72                                     | 1256,70                  | 14,75                  | 362,35                               | 195,48                           | 711.220,74                           |
| Papel                  | 101,46                                     | 184,63                   | 2,54                   | 94,09                                | 27,69                            | 345.007,46                           |
| Plástico               | 97,52                                      | 0                        | 0                      | 0                                    | 0                                | 0                                    |
| Amianto                | 15,40                                      | 38,32                    | 0,41                   | 11,40                                | 4,24                             | 31.669,96                            |
| Ferro                  | 70,63                                      | 568,20                   | 8,33                   | 217,28                               | 14,55                            | 421.575,07                           |
| <b>TOTAL</b>           | <b>2.236,45</b>                            | <b>3375,62</b>           | <b>40,50</b>           | <b>1097,45</b>                       | <b>410,66</b>                    | <b>2.954.127,93</b>                  |

Fonte: Os Autores (2024)

Situação equivalente ao caso anterior foi observada na utilização do Método CML-IA para análise do volume estimado, apontando linearidade do método para a avaliação realizada, conforme observado na Figura 17 e Tabela 8.

**Figura 17** - Análise do RCC estimado, CML-IA *Baseline* V 3.06 EU25.

Fonte: Os Autores (2024)

**Tabela 8** - Análise do RCC estimado, CML-IA *Baseline* V 3.06 EU25.

| Inventário de Resíduos | Depreciação Abiótica | Aquecimento Global   | Toxicidade Humana | Ecotox. Marinha     | Ecotox. Terrestre |
|------------------------|----------------------|----------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
|                        | (MJ)                 | (T CO <sub>2</sub> ) | (T)               | (T)                 | kg 1,4-DB         |
| Cimentícios            | 7.224.085,6          | <b>1.120,46</b>      | 171,42            | 415.600,24          | <b>1,47</b>       |
| Cerâmicos              | <b>8.226.091,6</b>   | 807,90               | 228,07            | <b>1.348.363,1</b>  | 0,63              |
| Papel                  | 1.179.570,2          | 98,98                | 32,04             | 119.617,32          | 0,25              |
| Plástico               | <b>0</b>             | 97,52                | <b>0</b>          | <b>0</b>            | <b>0</b>          |
| Concreto               | 2.668.844            | 385,67               | 77,40             | 168.491,67          | 0,66              |
| Amianto                | 181.254,85           | <b>15,11</b>         | 4,64              | 11.920,02           | 0,02              |
| Ferro                  | 628.885              | 68,94                | <b>253,83</b>     | 138.505,93          | 1,08              |
| <b>TOTAL</b>           | <b>20.108.731,25</b> | <b>2594,63</b>       | <b>767,43</b>     | <b>2.202.498,29</b> | <b>4,13</b>       |

Fonte: Os Autores (2024)

### 5.3.2 Análise de Ciclo de Vida para Cenário de Reciclagem

Neste ponto foi avaliado o desempenho ambiental da reciclagem hipotética de 100% dos RCC. Na Figura 18 observa-se que entre os itens do inventário, a reciclagem dos materiais derivados de compostos cimentícios apresentaram maior desempenho ambiental de redução de impactos em quatro das seis categorias avaliadas pelo método Recipe (Toxicidade Humana não cancerígena, Ecotoxicidade Terrestre, Escassez de Recursos Fósseis e Ecotoxicidade Marinha), seguido dos resíduos de Papel (Consumo de Água) e Plástico (Aquecimento Global), equivalente observado em De Lara e Penteado, (2024).

O expressivo benefício ambiental, conforme descrito anteriormente, é alavancado pelo impacto presente na indústria cimentícia (De Sales Braga, Junior e Barata, 2023).

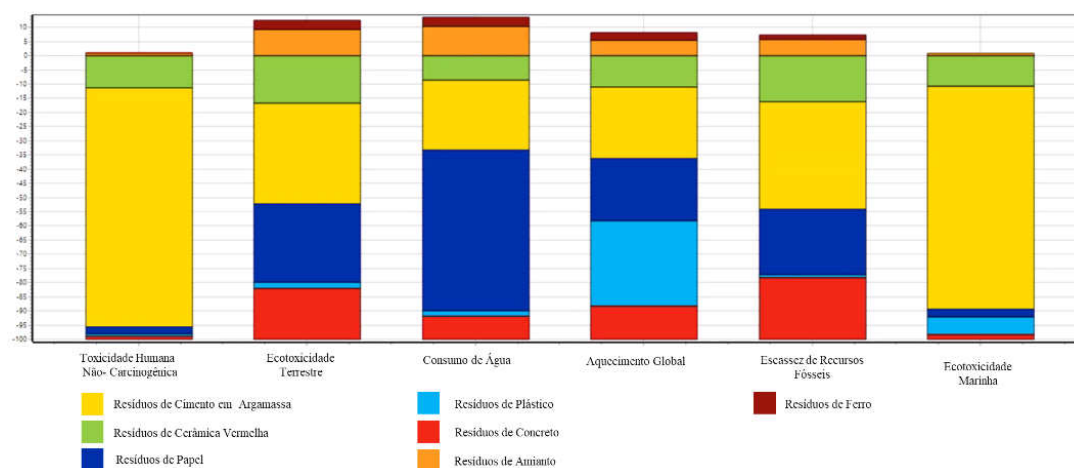


Ainda nessa avaliação observa-se que os resíduos de amianto, quando reciclados, apresentam aumento do impacto ambiental, comprovando a ineficácia do processo e consequente destinação aos aterros como solução de melhor desempenho, conforme observado na Tabela 9.

Esta observação está em consonância com o presente na Lei Nº 9.055, 1 de Junho de 1995, que disciplina a extração, industrialização, utilização, comercialização e transporte de asbesto/amianto.

Em todo caso, no momento os derivados de amianto contidos no RCC brasileiro, devem ser administrados sob a definição contida na Lei Nº 9.055/95.

**Figura 18** - Análise de 1 ton de RCC, Recipe 2016 Midpoint (H) V 1.04 World 2010 (H).



Fonte: Os Autores (2024)

**Tabela 9** - Análise de 1 ton RCC, Recipe 2016 Midpoint (H) V 1.04 World 2010 (H).

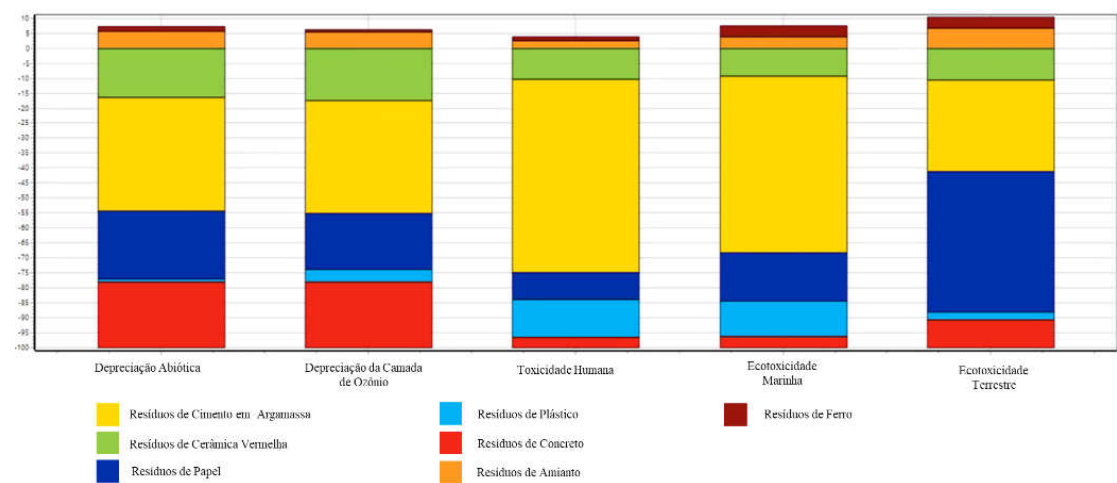
| Inventário de Resíduos | Toxicidade Humana Não-Cancer. | Ecotox. Terrestre | Consumo de Água | Aquecimento Global | Escassez de Recursos | Ecotoxicidade Marinha |
|------------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------|--------------------|----------------------|-----------------------|
|                        | (kg)                          | (kg)              | (m³)            | (Kg CO2)           | (kg Óleo)            | (kg)                  |
| Cimentícios            | <b>-92,33</b>                 | <b>-10,61</b>     | -5,55           | -5,20              | <b>-2,07</b>         | <b>-2,56</b>          |
| Cerâmicos              | -12,29                        | -5,03             | -1,99           | -2,28              | -0,89                | -0,35                 |
| Papel                  | -2,62                         | -8,24             | <b>-12,88</b>   | -4,57              | -1,25                | -0,09                 |
| Plástico               | -1,04                         | -0,70             | -0,46           | <b>-6,22</b>       | -0,06                | -0,20                 |
| Amianto                | <b>0,83</b>                   | <b>2,80</b>       | <b>2,31</b>     | <b>1,13</b>        | <b>0,31</b>          | <b>0,03</b>           |
| Ferro                  | 0,31                          | 0,98              | 0,77            | 0,56               | 0,09                 | -0,01                 |
| Concreto               | -1,13                         | -5,34             | -1,82           | -2,41              | -1,18                | -0,05                 |
| <b>TOTAL</b>           | <b>-107,15</b>                | <b>-20,80</b>     | <b>-17,80</b>   | <b>-16,60</b>      | <b>-3,87</b>         | <b>-3,17</b>          |

Fonte: Os Autores (2024)

Ao observar os resultados para o método CML-IA para a reciclagem de uma tonelada do RCC proposto é possível identificar mais uma vez o desempenho ambiental

da reciclagem de materiais provenientes de misturas cimentícias (depressão abiótica, toxicidade humana e ecotoxicidade marinha) seguidos novamente pelo plástico (Aquecimento Global) e Papel (Ecotoxicidade Terrestre) e novamente a ineficiência ambiental dos processos envolvendo amianto, conforme apresentado na Figura 19 e Tabela 10.

Figura 19 - Análise de 1 ton de RCC, CML-IA *Baseline* V 3.06 EU 25.



Fonte: Os Autores (2024)

Tabela 10 - Análise de 1 ton de RCC, CML-IA *Baseline* V 3.06 EU 25.

| Inventário de Resíduos | Depreciação Abiótica | Aquecimento Global | Toxicidade Humana | Ecotox. Marinha | Ecotox. Terrestre |
|------------------------|----------------------|--------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
|                        | (MJ)                 | (kg CO2)           | (kg)              | (T)             | (kg)              |
| Cimentícios            | -88,05               | -5,11              | -8,79             | -13,57          | -0,008            |
| Cerâmicos              | -37,80               | -2,24              | -1,40             | -2,16           | -0,0028           |
| Papel                  | -52,76               | -4,48              | -1,20             | -3,68           | -0,012            |
| Plástico               | -2,66                | -6,21              | -1,74             | -2,75           | -0,00068          |
| Concreto               | -50,38               | -2,36              | -0,46             | -0,83           | -0,0025           |
| Amianto                | 13,24                | 1,10               | 0,33              | 0,87            | 0,0017            |
| Ferro                  | 3,62                 | 0,55               | 0,17              | 0,89            | 0,0010            |
| TOTAL                  | -214,79              | -18,75             | -13,09            | -21,23          | -0,02328          |

Fonte: Os Autores (2024).

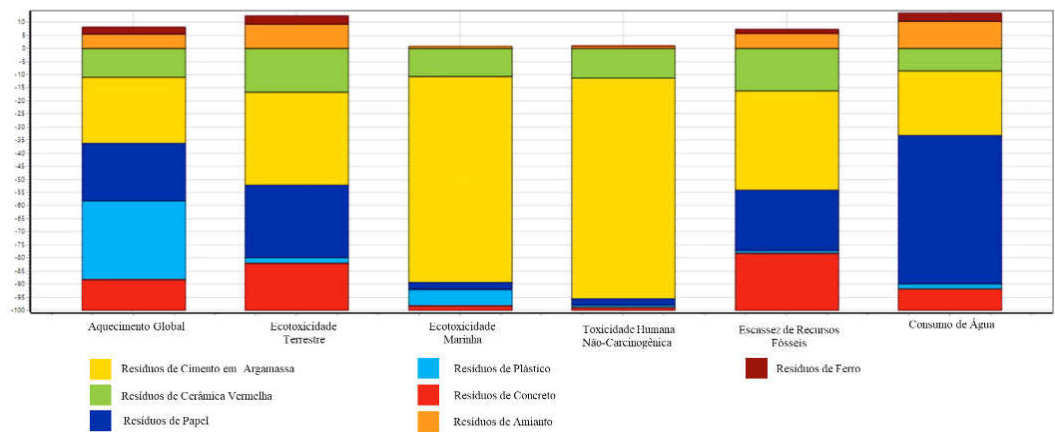
A análise do volume total estimado não apresentou linearidade em relação à unidade funcional (1 tonelada) para o método Recipe, apresentado na Figura 20.

Foi observado que novamente a reciclagem de derivados cimentícios promovem a maior melhoria ambiental dos materiais avaliados (Ecotoxicidade terrestre, Ecotoxicidade Marinha, Toxicidade Humana não Cancerígena e Escassez de Recursos

Fósseis), seguido da reciclagem do Plástico (Aquecimento Global) e Resíduos de Concreto (Consumo de Água), equivalente observado em De Lara e Penteadó, 2024. Novamente a reciclagem de resíduos de amianto apresentou ineficiência ambiental conforme observado na Tabela 11.

Em relação aos materiais derivados de ferro, é possível inferir que a variedade de qualidade, tipos, distribuição nas amostras e principalmente os processos de separação, transporte e reciclagem apontem para um significativo impacto quando reciclados, sendo necessário um estudo gravimétrico mais específico para definição dos tipos metálicos presentes no RCC brasileiro e novas análises de impactos (Abedin Khan; Balunaini e Costa, 2024).

Figura 20 - Análise dos RCC estimado, *Recipe 2016 Midpoint (H) V 1.04 World 2010 (H)*.



Fonte: Os Autores (2024)

Tabela 11 - Análise dos RCC estimado, *Recipe 2016 Midpoint (H) V 1.04 World 2010 (H)*.

| Inventário de Resíduos | Aquecimento Global | Ecotox. Terrestre | Ecotox. Marinha | Toxicidade Humana Não-Cancer. | Escassez de Recursos | Consumo de Água |
|------------------------|--------------------|-------------------|-----------------|-------------------------------|----------------------|-----------------|
|                        | (T CO2)            | (T)               | (T)             | (T)                           | (T Óleo)             | (m³)            |
| Cimentícios            | -71,19             | -145,20           | -35,00          | -1263,95                      | -28,29               | -75.920,83      |
| Cerâmicos              | -31,25             | -68,90            | -4,82           | -168,23                       | -12,15               | -27.249,14      |
| Papel                  | -62,61             | -112,82           | -1,19           | -35,93                        | -17,09               | -176.294,86     |
| Plástico               | -85,17             | -9,53             | -2,69           | -14,30                        | -0,86                | -6.362,71       |
| Amianto                | 15,40              | 38,33             | 0,41            | 11,41                         | 4,24                 | 31.669,96       |
| Ferro                  | 7,62               | 13,37             | -0,10           | 4,18                          | 1,17                 | 10.515,12       |
| Concreto               | -32,94             | -73,04            | -0,68           | -15,50                        | -16,19               | -24.975.008,00  |
| TOTAL                  | -260,14            | -357,79           | -44,07          | -1482,32                      | -69,17               | -25.218.650     |

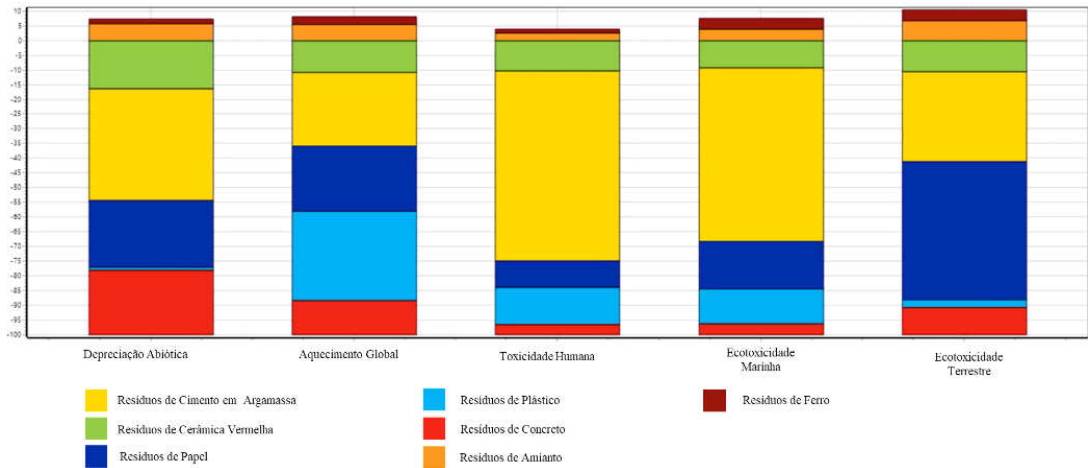
Fonte: Os Autores (2024)

Finalmente os resultados do método CML-IA apresentaram equivalência entre o cenário estimado e a unidade funcional (1 tonelada) demonstrando os mesmos

desempenhos de reciclagem e a ineficiência do processo para o amianto, conforme observado na Figura 21 e Tabela 12.

Desta forma os resultados de redução de impactos são reiterados, com exceção ao processo de reciclagem do amianto, como esperado.

Figura 21 - Análise dos RCC estimado, CML-IA *Baseline V 3.06 EU25*.



Fonte: Os Autores (2024)

Tabela 12 - Análise dos RCC estimado, CML-IA *Baseline V 3.06 EU25*.

| Inventário de Resíduos | Depreciação Abiótica | Aquecimento Global | Toxicidade Humana | Ecotox. Marinha | Ecotox. Terrestre |
|------------------------|----------------------|--------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
|                        | (MJ)                 | (T CO2)            | (T)               | (T)             | (Kg)              |
| Cimentícios            | -1.205.415,70        | -69,98             | -120,42           | -185,70         | -113,45           |
| Cerâmicos              | -517.530,95          | -30,77             | -19,26            | -29,55          | -38,86            |
| Papel                  | -722.339,73          | -61,34             | -16,55            | -50,44          | -172,62           |
| Plástico               | -36.472,05           | -85,09             | -23,86            | -37,69          | -9,44             |
| Concreto               | -689.792,70          | -32,32             | -6,33             | -11,34          | -34,40            |
| Amianto                | 181254,85            | 15,12              | 4,64              | 11,92           | 24,47             |
| Ferro                  | 49.573,06            | 7,56               | 2,41              | 12,21           | 14,05             |
| <b>TOTAL</b>           | <b>-2940723,23</b>   | <b>-256,82</b>     | <b>-179,36</b>    | <b>-290,60</b>  | <b>-330,25</b>    |

Fonte: Os Autores (2024).

Pelo apresentado, é possível observar que em ambos os métodos utilizados a reciclagem dos RCC apresenta grande potencial de redução de impactos ambientais, com exceção dos resíduos de amianto, desta forma torna-se bastante claro a vantagem ambiental deste cenário (Khan *et al.*, 2023; Llatas; Quiñones e Bizcocho, 2022; Llatas *et al.*, 2021; Park *et al.*, 2020).

Outro ponto de destaque que necessita ser lembrado nesse momento é que os RCC por suas características físicas e grande volume de geração tornam-se um grande

problema na gestão de aterros sanitários, impactando diretamente em sua operação e principalmente longevidade, sendo então mais um indicador da necessidade de políticas públicas mais eficientes em relação ao destino destes (Alvarenga e De Jesus Rocha, 2024).

## 6. RECOMENDAÇÕES

### 6.1 Propostas de Melhoria na Gestão de RCC

No atual cenário de busca global por melhores condições ambientais, incluindo as metas de sustentabilidade previstas na Agenda 2030, é fundamental compreender o real impacto das ações antrópicas e a partir disso planejar medidas efetivas de enfrentamento e consequente redução. O empirismo, comum em diversas políticas públicas, pode tornar este enfrentamento oneroso economicamente e principalmente do ponto de vista ambiental, desta forma a ACV possibilita o planejamento de ações realmente eficazes.

Durante este estudo foram observadas algumas lacunas na gestão de RCC, que apresentam influência direta na eficiência de operacionalização e impactos ambientais. Desta forma é possível pontuar melhorias para o sistema e implementação de outras ferramentas que potencializem a sustentabilidade da gestão de RCC. Inicialmente observou-se que a fiscalização dos descartes irregulares de RCC realizou treze autuações relativas ao descarte irregular em um período de três anos (2021-2023), conforme observado na Tabela 13.

**Tabela 13** - Histórico de Autuações Ambientais, Caruaru.

| Ano  | Tipo de Autuação      | Infração Descrita         | Local                            | Bairro              |
|------|-----------------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------|
| 2021 | Infração Ambiental    | Descarte Irregular de RCC | Avenida Miguel de Freitas Torres | Distrito Industrial |
| 2021 | Infração Ambiental    | Descarte Irregular de RCC | Rua Edson Arantes do Nascimento  | Nova Caruaru        |
| 2021 | Infração Ambiental    | Descarte Irregular de RCC | Rua Clara Nunes                  | São João da Escócia |
| 2021 | Notificação Ambiental | Descarte Irregular de RCC | Rua São Rafael                   | Nova Caruaru        |
| 2021 | Notificação Ambiental | Descarte Irregular de RCC | Rua Luiza Florêncio Porto        | Maurício de Nassau  |
| 2021 | Notificação Ambiental | Descarte Irregular de RCC | Av. Mestre Vitalino              | Alto do Moura       |
| 2022 | Infração Ambiental    | Descarte Irregular de RCC | Rua Severina Maria de Oliveira   | Nova Caruaru        |
| 2022 | Infração Urbana       | Descarte Irregular de RCC | Rua Severina Maria de Oliveira   | Nova Caruaru        |

|      |                       |                           |                                   |                |
|------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------------|----------------|
| 2022 | Infração Ambiental    | Descarte Irregular de RCC | Rua Severina Maria de Oliveira    | Nova Caruaru   |
| 2023 | Infração Ambiental    | Descarte Irregular de RCC | Estrada de Acesso Serras do Vale  | Serras do Vale |
| 2023 | Infração Ambiental    | Descarte em APP           | Rua Macaparana                    | Boa Vista      |
| 2023 | Infração Ambiental    | Descarte Irregular de RCC | Estrada para Cachoeira Da Onça    | Nova Caruaru   |
| 2023 | Notificação Ambiental | Descarte Irregular de RCC | Rua Pastor José Ferreira da Silva | Luiz Gonzaga   |

Fonte: Os Autores (2024)

É possível inferir que diante do cenário populacional, extensão territorial do município e geração de resíduos estimadas, as ações coercitivas em relação ao descarte irregular necessitam de intensificação. É possível atribuir o baixo número de autos de infração as dificuldades de identificar os autores das infrações em flagrante, entretanto é possível, em alguns casos, a identificação através de investigação por oitivas com a população da área de influência.

Em outros casos é possível inferir que o descarte irregular pode ocorrer distante das vizinhanças da obra através de transporte em veículos de carga para outros bairros e distritos, especialmente aqueles de maior vulnerabilidade como descrito por Pires; De Freitas & Caetano (2024).

De toda forma, as ações de combate ao descarte irregular necessitam de intensificação, sendo o último tramite do processo administrativo a autuação e consequente punição pecuniária.

Outro relevante ponto é a melhoria no sistema de informação de obras, com digitalização de processos de licenciamento, inclusive aqueles arquivados, para melhor controle da geração de RCC. Os processos de reformas e construções que não necessitem de licença, deveriam possuir controle de geração de RCC, mesmo que de forma estimativa e simplificada, para monitoramento dos potenciais resíduos produzidos.

Foi observado que as ferramentas de gestão, através de métodos computacionais, promovem melhoria significativa no controle da geração, descarte, reuso e redução de impactos ambientais. Ferramentas que estimam a geração e aquelas ligadas ao georreferenciamento, aliadas aos modelos de estimativa de impactos ambientais mostraram grande eficiência nesse sentido (Mousavi; Ventura e Antheaume, 2020; Li et

*al.*, 2020; Su *et al.*, 2021; Jalaei; Zoghi E Khoshand, 2021; Aman *et al.*, 2022; Llatas; Quiñones e Bizcocho, 2022).

A Autarquia de Urbanização e Meio Ambiente de Caruaru, atualmente possui parte dos cadastros digitalizados e parte em meio físico, foi observado na tentativa de coleta de dados falta de padronização no arquivamento e consequente fragilidade nas informações arquivadas, o que impossibilitou a coleta pelo risco de desvio entre a geração real e a contida nos arquivos, a Figura 23 apresenta a sala de arquivamento dos processos de Licenciamento e Dispensa de Licenciamento do Município.

**Figura 22-** Arquivo de Processos de Licenciamento.



Fonte: Os Autores (2024)

Foi observado também, que o município executa a remoção de RCC em pontos já pré-determinados. Desta forma, considera-se fundamental uma fiscalização sistemática também em outros pontos aleatórios ou identificados através de denúncias da população. É importante também para uma melhor eficiência da gestão dos RCC, a centralização de informações, buscando a melhoria na precisão da totalização dos volumes estimados.

Outro ponto sensível identificado neste estudo é que o município deve realizar estudo de viabilidade técnica para implantação de uma central de beneficiamento de RCC, com potencial desempenho ambiental e aplicabilidade. Conforme observado na revisão de literatura e na ACV parte dos materiais atualmente destinados ao aterro

sanitário tem grande viabilidade para reuso, reduzindo impacto e consequentemente gerando recursos ao município, através da economia, especialmente com agregados (Cuenca-Moyano *et al.*, 2019; Pavlu; Kocí e Hájek, 2019; Yazdanbakhsh e Lagouin, 2019; Colangelo *et al.*, 2020; Ventura e Antheaume, 2020; Agrela *et al.*, 2021; Petrillo e Farina, 2021; Lachat *et al.*, 2021; Mostert *et al.*, 2021; Zhao *et al.*, 2021; Zhou *et al.*, 2021; Mousavi; Zhao *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2020; Ruiz *et al.*, 2022; Haider *et al.*, 2022; Khan *et al.*, 2022a; Ulucan e Alyamac, 2022; Yu *et al.*, 2022; Colangelo; Chica *et al.*, 2023; Mir *et al.*, 2023; Nežerka *et al.*, 2023; Volk *et al.*, 2023).

Entretanto é necessário estudo logístico para a implantação de central de RCC. Tal afirmação advém do fato de que a central necessita ser construída em local acessível, com área suficiente para os processos e principalmente em localização otimizada em relação ao transporte dos resíduos, notadamente o consumo de combustíveis nesta operação, visto este ser um dos fatores de potencial impacto ambiental (Rosado e Penteado, 2019b; Yazdanbakhsh e Lagouin, 2019; Ferronato *et al.*, 2022; Khan *et al.*, 2022).

É possível avaliar que, em 2020, se os materiais com maior potencial de reciclagem fossem destinados para centrais de triagem e posterior reutilização, o aterro sanitário local deixaria de receber um volume de cerca de 73.260 m<sup>3</sup>, observado na Tabela 14, aumentando a vida útil do aterro, situação almejada para este tipo de dispositivo.

**Tabela 14** - Volume Estimado, destinado ao Aterro Sanitário.

| <b>Material</b>               | <b>Peso (T)</b>    | <b>Peso Específico (T/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Volume (m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------------------------|--------------------|------------------------------------------|-------------------------------|
| Areia, cascalho e pedra       | 41.067,6           | 1,7                                      | 24.157,41                     |
| Concreto                      | 33.771,2564        | 2,4                                      | 14.071,36                     |
| Argamassa                     | 33.538,54          | 2,1                                      | 15.970,73                     |
| Resíduos de Cerâmica Vermelha | 24.777,452         | 1,3                                      | 19.059,58                     |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>133.154,848</b> |                                          | <b>73.259,08</b>              |

Fonte: Os Autores (2024)

Em um cenário hipotético, onde os materiais citados na Tabela 14 fossem beneficiados e vendidos como agregados para aterro, com valor equiparado ao material equivalente na Tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) de março de 2024, seriam arrecadados valor superior a 5 milhões de reais como observado na Tabela 15.



**Tabela 15** - Valor de Venda de Agregados.

| <b>SINAPI</b> | <b>Descrição</b>                                                                        | <b>Quantidade<br/>(m³)</b> | <b>Custo<br/>Unitário<br/>(R\$)</b> | <b>Valor Total<br/>(R\$)</b> |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| 4746          | Pedregulho ou Piçarra de Jazida, ao Natural, para base de pavimentação (sem Transporte) | 73259,08                   | 73,35                               | 5.373.553,52                 |

Fonte: Os Autores (2024)

Outro ponto importante é a construção de políticas de gestão de RCC que integrem o poder público a sociedade civil, a exemplo de planos de contingência com a participação das instituições de ciência e tecnologia, como universidades e centros de ensino, setor construtivo, sociedade civil organizada, entre outros. A partir da construção conjunta é possível fortalecer o gerenciamento municipal e desta forma promover a redução do impacto ambiental gerado pelos RCC (Rosado & Penteado, 2019a; Rosado & Penteado, 2019b).

Em resumo, o estudo aponta para adequações e melhorias nos seguintes critérios:

- Melhoria na Fiscalização e ações de combate ao descarte irregular;
- Melhoria nas Ferramentas de controle de geração e impactos;
- Melhoria no processo de Licenciamento;
- Melhoria na Gestão de Dados ligados ao RCC;
- Unificação dos dados de Geração;
- Melhoria na Transparência de dados;
- Avaliação de Implantação de Central de RCC;
- Reuso de materiais beneficiados de RCC;
- Fomento de Parcerias institucionais para gestão de RCC.

## 7. CONCLUSÕES

A partir do discutido nesse estudo é possível compreender a importância de ações conjuntas para redução do impacto ambiental da construção civil, especialmente em países onde estas ações ainda não apresentam, de forma concreta, os resultados esperados.

Ações que visem a redução de desperdício e consequente melhor aproveitamento de matérias primas e energias, aliadas ao reuso de materiais potencialmente recicláveis, do ponto de vista ambiental e econômico e finalmente a consolidação dos conceitos de sociedade sustentável, promovidos pela educação, consolidam um cenário de grande potencialidade.

O estudo em si, mostrou diversas ações em relação ao RCC pelo mundo, a legislação brasileira acerca do tema e uma análise detalhada dos impactos ambientais em multicenários para a área de estudo.

Observou-se grande potencialidade econômica para os RCC da região agreste pernambucana, especificamente no Município de Caruaru, sendo necessárias algumas melhorias na gestão destes resíduos por parte dos diversos órgãos envolvidos no processo.

Foram descritos os materiais com maior vocação ambiental para reutilização, sendo aqueles derivados de agregados e os derivados de misturas cimentícias com potencial descrito.

Entre os resultados discutidos nesse estudo, os materiais que mostraram menor impacto em determinada análise, não os redime quanto a potencialidade de impacto. Ou seja, em um universo gravimétrico onde existem materiais com elevada massa específica e grandes volumes, estes podem ofuscar a potencialidade daqueles tidos como coadjuvantes, sendo necessário o olhar crítico do leitor para não incidir nesse possível “falso-negativo”.

A separação do RCC é fator importante para a redução do impacto ambiental em situações de processos de reciclagem. Para materiais como o amianto a reciclagem, mesmo sendo um processo proibido no Brasil, mostrou-se mais impactante que a

destinação ao aterro sanitário, situação consonante com a legislação relativa a este grupo de materiais.

O estudo mostrou que é fundamental lastrear ações, nos resultados científicos, em economias em desenvolvimento, como na área de estudo e municípios equivalentes, uma vez que os investimentos públicos necessitam deste lastreamento, possibilitando maior precisão nos resultados almejados. A ferramenta de ACV possibilitou compreender que entre os RCC mais comuns, existem aqueles que necessitam de abordagem imediata em sua gestão, com grande potencial ambiental e econômico para as localidades.

Finalmente aponta-se a necessidade de estudos voltados a gravimetria mais precisa dos resíduos de construção civil, estudos voltados a quantificação de RCC utilizando o mapeamento dos operadores logísticos (empresas de coleta) para trazer maior precisão aos resultados, e estudo de viabilidade econômica para o beneficiamento de RCC na região.

## REFERÊNCIAS

ABEDIN KHAN, Z.; BALUNAINI, U.; COSTA, S. Environmental feasibility and implications in using recycled construction and demolition waste aggregates in road construction based on leaching and life cycle assessment – A state-of-the-art review. **Cleaner Materials**, v. 12, 2024.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.112**: Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004e.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.113**: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004f.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.114**: Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004g.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.115**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004h.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004i.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14.040: Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida, Princípios e estrutura**. Brasil, 2009a.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14.044: Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida, Requisitos e Orientações**. Brasil, 2009b.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresa de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2014**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>>. Acesso em: 10, julho de 2023.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresa de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2022**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-> Acesso em: 10, julho de 2023.

AGRELA, F.; DÍAZ-LÓPEZ, J.L.; ROSALES, J.; CANO, H.; CABRERA, M. Environmental assessment, mechanical behavior and new leaching impact proposal of mixed recycled aggregates to be used in road construction. **Journal of Cleaner Production**, v. 280, 2021.

ALBERTO LÓPEZ RUIZ, L.; ROCA RAMON, X.; MELISSA LARA MERCEDES, C.; GASSO DOMINGO, S. Multicriteria analysis of the environmental and economic performance of circularity strategies for concrete waste recycling in Spain. **Waste Management**, v. 144, p. 387–400, 2022.

ALIZADEHSALEHI, S.; HADAVI, A.; HUANG, J. C. From BIM to extended reality in AEC industry. **Automation in Construction**, v. 116, 2020.

ALMENDA, M. A. F.; BONALDO, E. **BIM e o mundo virtual: a real da construção civil**. Building Information Modeling (BIM) Princípios e Tendências, p. 115, Belo Horizonte - MG: Editora Poisson, 2023.

ALSAWAFI, A.; LEMKE, F.; YANG, Y. The impacts of internal quality management relations on the triple bottom line: A dynamic capability perspective. **International Journal of Production Economics**, Volume 232, 2021.

ALVARENGA, C.; DE JESUS ROCHA, D. Logística reversa e reciclagem como forma de mitigar o excesso de resíduos sólidos em aterros sanitários e seus impactos ambientais. **Revista de Direito, Globalização e Responsabilidade nas Relações de Consumo**, v. 9, n. 2, 2024.

AMAN, A.M.N.; SELVARAJOO, A.; CHONG, S.; TEO, F.Y. Comparative life cycle assessment of pervious concrete production in Malaysia with natural and recycled aggregate. **Innovative Infrastructure Solutions**, v. 7, n. 3, 2022.

ANTUNES, A.; MARTINS, R.; SILVESTRE, J.D.; JÚLIO, E.; PEDROSO, P. Environmental impacts and benefits of the end-of-life of building materials: Database to support decision making and contribute to circularity. **Sustainability** (Switzerland), v. 13, n. 22, 2021.

ARRUDA NETO, J. F.; DUARTE, A. D.; MEDEIROS, I. S.; AGUIAR, G. J. A.; SILVA, G. L. Adequação de telhados verdes extensivos para a cidade de Caruaru-PE baseada na média de precipitações chuvosas. **Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade**, 3. 1ed.: Atena Editora, 2019, v. 1, p. 1-8. Doi: 10.22533/at.ed.247190901

ARRUDA NETO, J. F.; MEDEIROS, I. S.; AGUIAR, G. J. A.; DUARTE, A. D.; SILVA, G. L. Avaliação dos impactos das precipitações pluviométricas na manutenção da rede de esgotamento sanitário no Município de Caruaru, Agreste de Pernambuco. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, 2022, 9(21), 3-19.

BALAGUERA, A.; ALBERTI, J.; CARVAJAL, G. I.; FULLANA-I-PALMER, P. Stabilising Rural Roads with Waste Streams in Colombia as an Environmental Strategy Based on a Life Cycle Assessment Methodology. **Sustainability**, 13(5), 2021.

BANIAS, G.; BATSILOULA, M.; ACHILLAS, C.; PATSIOS, S. I.; KONTOGIANNOPOULOS, K. N.; BOCHTIS, D.; MOUSSIOPOULOS, N. A Life Cycle Analysis Approach for the Evaluation of Municipal Solid Waste Management Practices: The Case Study of the Region of Central Macedonia, Greece. **Sustainability**, 12(19), 2020.

BANIAS, G.F.; KARKANIAS, C.; BATSILOULA, M.; SKOUTIDA, S.; SPILIOTIS, X. **Environmental Assessment of Alternative Strategies for the Management of Construction and Demolition Waste: A Life Cycle Approach**. Sustainability (Switzerland), v. 14, n. 15, 2022.

BARDINI, V.; RIBEIRO, V.; FIORE, F. A.; JÚNIOR, V. E. M. Impactos ambientais da utilização de agregados reciclados de resíduo de construção civil em camadas de pavimento. **Anais do 25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)**, Foz do Iguaçu, Paraná, 2023.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. (2002) Resolução CONAMA nº. 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. Ministério do Meio Ambiente: CONAMA, 2002. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Imprensa Oficial.

BRASIL. Lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Seção 1, p. 3.

BRASIL. Lei Nº 9.055, de 1 de junho de 1995. Disciplina a extração, industrialização, utilização, comercialização e transporte do asbesto/amianto e dos produtos que o contenham, bem como das fibras naturais e artificiais, de qualquer origem, utilizadas para o mesmo fim e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 2 de junho de 1995.

CARUARU. **Plano de Saneamento Básico Setorial para a Limpeza Urbana e o Manejo dos Resíduos Sólidos do Município de Caruaru**. Decreto Nº 037. Câmara de Vereadores de Caruaru. 2018.

CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. **Condutas de Sustentabilidade no setor Imobiliário, 2021**. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br/website/condutas-de-sustentabilidade/show.asp?ppgCode=2AF07A75-7E4C-426B-BF7A-C2F925B2B065>> Acesso em: 10, julho de 2023.

CHICA, L.; VILLADA, J.P.; ARCILA, J.M.; RESTREPO, J.W. Technical Viability and Life Cycle Assessment to Excavated Soil and CDW Blends for Hydraulic Applications. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 27, n. 4, p. 1412–1422, 2023.

COLANGELO, F.; NAVARRO, T.G.; FARINA, I.; PETRILLO, A. Comparative LCA of concrete with recycled aggregates: a circular economy mindset in Europe. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 25, n. 9, p. 1790–1804, 2020.

COLANGELO, F.; PETRILLO, A.; FARINA, I. Comparative environmental evaluation of recycled aggregates from construction and demolition wastes in Italy. **Science of the Total Environment**, v. 798, 2021.

CORLETT, R. T.; PRIMACK, R. B. Sustainability: A mantra ora moral choice? An ecological and economic approach. **An Ecological**, 2011.

COSTA, A. F., ARAGÃO, J. V., DUARTE, A. D., MACEDO, J. S., GALDINO JR, C. J., MILANEZ, V. F., SARUBBO, L. A. Analysis of the Environmental Life Cycle of Dyeing in Textiles. **Chemical Engineering Transactions**, 86, 727-732. 2021.

CUENCA-MOYANO, G.M.; MARTÍN-MORALES, M.; BONOLI, A.; VALVERDE-PALACIOS, I. Environmental assessment of masonry mortars made with natural and recycled aggregates. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 24, n. 2, p. 191–210, 2019.

DE CONTO, V.; LUCAS DE OLIVEIRA, M.; RUPPENTHAL, J. E. Certificações ambientais: contribuição à sustentabilidade na construção civil no Brasil. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, [S. l.], v. 12, n. 4, p. 100, 2017.

DE LARA, B. L. E.; PENTEADO, C. S. G. Environmental assessment of construction waste prevention: A case study in a social housing project in Southeast Brazil. **Cleaner Waste Systems**, v. 8, 2024.

DE MACEDO, L. M.; DORTE, C. K.; DA SILVA, E. L.; MEDEIROS, G. S.; TAVARES, A. V.; DE ALMEIDA, B. G.; NASSIF, M. F. D. O Impacto das Políticas Públicas na Morbimortalidade por Neoplasias dos Brônquios e dos Pulmões. **O Mundo da Saúde**, 48, 2024.

DE SALES BRAGA, N. T.; JUNIOR, E. S. A.; BARATA, M. S. Produção de cimentos de baixo impacto ambiental: perspectivas para a região amazônica. **Novos Cadernos NAEA**, 26(2), 2023.

DIAS, B. R. L.; PONTES, A. N. Aspectos epidemiológicos do Câncer de Pulmão na Amazônia Paraense. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 1, p. 4323-4333, 2024.

DOS SANTOS, A. O. Análise qualitativa das certificações ambientais de edificações em Manaus. **Saberes da Engenharia: Uma contribuição para a sociedade** Volume 4, p. 31, 2024.

DOS SANTOS MENEZES, A. J.; NASCIMENTO, G. S.; GADELHA, J. G. Benefícios do exercício aeróbico e anaeróbico no tratamento de pacientes com câncer de pulmão: uma revisão sistemática. **Revista Contemporânea**, 4(3), e3551-e3551, 2024.

EUROPEAN UNION. **EU Construction and Demolition Waste Protocol and Guidelines**. Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. 2018. Disponível em: <[https://ec.europa.eu/growth/news/eu-construction-and-demolition-waste-protocol-2018-09-18\\_en](https://ec.europa.eu/growth/news/eu-construction-and-demolition-waste-protocol-2018-09-18_en)>. Acesso em: 10 de julho de 2023.



FERRONATO, N.; GUISBERT LIZARAZU, G.E.; GORRITTY PORTILLO, M.A.; CONTI, F.; TORRETTA, V. Environmental assessment of construction and demolition waste recycling in Bolivia: Focus on transportation distances and selective collection rates. **Waste Management and Research**, v. 40, n. 6, p. 793–805, 2022.

FERRONATO, N.; MORESCO, L.; GUISBERT LIZARAZU, G.E.; CONTI, F.; TORRETTA, V. Comparison of environmental impacts related to municipal solid waste and construction and demolition waste management and recycling in a Latin American developing city. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 4, p. 8548–8562, 2023.

GEÓGRAFOS. **Coordenadas Geográficas de Caruaru, Pernambuco – PE**, 2023. Disponível em <<https://www.geografos.com.br/cidades-pernambuco/caruaru.php>>. Acesso em 10 de agosto de 2023.

GHISELLINI, P.; NCUBE, A.; D’AMBROSIO, G.; PASSARO, R.; ULGIATI, S. Potential energy savings from circular economy scenarios based on construction and agri-food waste in Italy. **Energies**, v. 14, n. 24, 2021.

GONÇALVES JÚNIOR, A. A.; JUSSIANI, E.I.; ANDRELO, A. C.; VANDERLEI, R. D.; TORALLES, B. M. Ecoefficient Cementitious Materials with High Levels of Portland Cement Replacement Using Blast Furnace Slag. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 36, n. 8, 2024.

GUNARATNE, T.; JOHANSSON, J.; SVENSSON, N. Environmental potential of shredder fines valorisation. **Waste Management**, 154, 223–231, 2022.

GUVEN, D.; KAYALICA, M. O. Environmental and economic assessment of hydrogen-powered ferries for inland transportation, **Ocean Engineering**, Volume 301, 2024.

HAIDER, H.; ALMARSHOD, S.Y.; ALSALEEM, S.S.; ALRESHEEDI, M.T.; SHAFIQUZZAMAN, M. Life Cycle Assessment of Construction and Demolition Waste Management in Riyadh, Saudi Arabia. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 12, 2022.

HUIJBREGTS, M. A. J.; STEINMANN, Z. J. N.; ELSHOUT, P. M. F.; STAM, G.; VERONES, F.; VIEIRA, M.; ... VAN ZELM, R. ReCiPe2016: a harmonised life cycle

impact assessment method at midpoint and endpoint level. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. 2016, 22(2), 138–147.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Área da unidade territorial: Área territorial brasileira 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Hierarquia urbana: IBGE. Regiões de Influência das Cidades 2018**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Região intermediária: IBGE, Divisão Territorial Brasileira – DTB**, 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mesorregião: IBGE, Divisão Territorial Brasileira – DTB**, 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Microrregião: IBGE, Divisão Territorial Brasileira – DTB**, 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023

IODICE, S.; GARBARINO, E.; CERRETA, M.; TONINI, D. Sustainability assessment of Construction and Demolition Waste management applied to an Italian case. **Waste Management**, v. 128, p. 83–98, 2021.

IVANICA, R.; RISSE, M.; WEBER-BLASCHKE, G.; RICHTER, K. Development of a life cycle inventory database and life cycle impact assessment of the building demolition stage: A case study in Germany. **Journal of Cleaner Production**, v. 338, 2022.

JALAEI, F.; ZOGHI, M.; KHOSHAND, A. Life cycle environmental impact assessment to manage and optimize construction waste using Building Information Modeling (BIM). **International Journal of Construction Management**, v. 21, n. 8, p. 784–801, 2021.

KHAN, S.A.; KUL, A.; ŞAHIN, O.; AL-GHAMDI, S.G.; KOÇ, M. Energy-environmental performance assessment and cleaner energy solutions for a novel Construction and Demolition Waste-based geopolymers binder production process. **Energy Reports**, v. 8, p. 14464–14475, 2022a.

KHAN, S.A.; MIR, N.; KUL, A.; ŞAHMARAN, M.; KOÇ, M. Renewable energy for carbon footprint reduction of green geopolymers material's production for built-environment. **Energy Reports**, v. 8, p. 852–858, 2022b.

KHAN, S. A.; JASSIM, M.; ILCAN, H.; SAHIN, O.; BAYER, I. R.; SAHMARAN, M.; KOC, M. Show more 3D printing of circular materials: Comparative environmental analysis of materials and construction techniques. **Case Studies in Construction Materials**, v. 18, 2023.

KRONEMBERGER, D. M. P; PEREIRA, R. S; FREITAS, E. A. F. **Saneamento e Meio Ambiente** – Atlas de Saneamento – IBGE 2011.

LACHAT, A.; MANTALOVAS, K.; DESBOIS, T.; DI MINO, G.; FERAILLE, A. From buildings' end of life to aggregate recycling under a circular economic perspective: A comparative life cycle assessment case study. **Sustainability** (Switzerland), v. 13, n. 17, 2021.

LI, J.; LIANG, J.; ZUO, J.; GUO, H. Environmental impact assessment of mobile recycling of demolition waste in Shenzhen, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 263, 2020.

LIMA, F. P.; SELEME, R.; CLETO, M. G.; Indústria 4.0 e a Sustentabilidade Organizacional. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, 2022.

LIU, J. K.; HUANG, Z. J.; WANG, X. T. (2020). Economic and Environmental Assessment of Carbon Emissions from Demolition Waste Based on LCA and LCC. **Sustainability**, 12(16), 2020.

LLATAS, C.; BIZCOCHO, N.; SOUST-VERDAGUER, B.; MONTES, M.V.; QUIÑONES, R. An LCA-based model for assessing prevention versus non-prevention of construction waste in buildings. **Waste Management**, v. 126, p. 608–622, 2021.

LLATAS, C.; QUIÑONES, R.; BIZCOCHO, N. Environmental Impact Assessment of Construction Waste Recycling versus Disposal Scenarios Using an LCA-BIM Tool during the Design Stage. **Recycling**, v. 7, n. 6, 2022.

MCARTHUR, J. W., & RASMUSSEN, K. Change of pace: Accelerations and advances during the Millennium Development Goal era. **World Development**, v. 105, p. 132–143, 2018.

MAGER, A.; BLASS, V. From Illegal Waste Dumps to Beneficial Resources Using Drone Technology and Advanced Data Analysis Tools: A Feasibility Study. **Remote sensing**, **14**(16), 2022.

MENEGATTI, L.C.; CASTRILLON FERNANDEZ, L.I.; CALDAS, L.R.; TOLEDO FILHO, R.D.; MARTINELLI, E. Environmental Performance of Deconstructable Concrete Beams Made with Recycled Aggregates. **Sustainability** (Switzerland), v. 14, n. 18, 2022.

MIR, N.; KHAN, S.A.; KUL, A.; SAHMARAN, M.; KOC, M. Life cycle assessment of construction and demolition waste-based geopolymers suited for use in 3-dimensional additive manufacturing. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 10, 2022.

MIR, N.; SHOUKAT, A. K.; KUL, A.; SAHIN, O.; OZCELIKCI, E.; SAHMARAN, M.; KOC, M. Construction and demolition waste-based self-healing geopolymer composites for the built environment: An environmental profile assessment and optimization. **Construction and Building Materials**, v. 369, 2023.

MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D.G. “The PRISMA Group-Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement”. **PLoS Med**, 2009.

MOSTERT, C.; SAMEER, H.; GLANZ, D.; BRINGEZU, S. Climate and resource footprint assessment and visualization of recycled concrete for circular economy. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 174, 2021.

MOUSAVI, M.; VENTURA, A.; ANTREAUME, N. Decision-based territorial life cycle assessment for the management of cement concrete demolition waste. **Waste Management and Research**, v. 38, n. 12, p. 1405–1419, 2020.

NEŽERKA, V.; PROŠEK, B. A.; TREJBAL, J.A.; PEŠTA, J. B. C.; FERRIZ-PAPI, J. A.D; TESÁREK, J. A. Recycling of fines from waste concrete: Development of lightweight masonry blocks and assessment of their environmental benefits. **Journal of Cleaner Production**, v. 385, 2023.

NUGEM, R. C; BORDIN, R; PEDROZZO, E. A; ROSA, R. S. **Abordagem Hidrossocial: uma Ponte entre o Saneamento Básico e o Saneamento Ambiental.** Cidades e Sustentabilidade: os desafios para conciliar equilíbrio ecológico e bem-estar social. Porto Alegre - RS: UERGS, 2021.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Brasília. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 10, julho de 2023.

ONU BRASIL - Organização das Nações Unidas no Brasil. **Transformando nosso mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. 2016. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acesso em: 10, julho de 2023.

PERNAMBUCO (Estado). Lei no 14.236, de 13 de dezembro de 2010. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Pernambuco**, Poder Executivo, Recife, 2012. p. 7.

OTOBO, A. O.; SANTANA, A. C.; COSTA, C. F. Índice de Responsabilidade Socioambiental Empresarial no Distrito Administrativo de Icoaraci (Dai-co), Belém – Pará. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, 2016.

PARK, W.-J.; KIM, R.; ROH, S.; BAN, H. Identifying the major construction wastes in the building construction phase based on life cycle assessments. **Sustainability** (Switzerland), v. 12, n. 19, p. 1–14, 2020.

PATOUILLARD, L., BULLE C., QUERLEU C., MAXIME D., OSSET P., MARGNI, M. Critical review and practical recommendations to integrate the spatial dimension into life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, 2017. doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.192.

PAVLU, T.; KOCÍ, V.; HÁJEK, P. Environmental assessment of two use cycles of recycled aggregate concrete. **Sustainability** (Switzerland), v. 11, n. 21, 2019.

PAZ, D.; H.; F. **Desenvolvimento de um Sistema de apoio à Gestão Integrada de Resíduos da Construção e Demolição**. Tese de Doutorado, UFPE, 2019.

PINTO, T.P (Coord.). **Gestão ambiental de resíduos da construção civil: A experiência do SINDUSCON-SP**. Obra Limpa, Instituto de Técnicas em Construção civil, São Paulo. 2005. 49 p.

PIRES, L. P. A.; DE FREITAS, J. S.; CAETANO, H. D. A. S. Desafios do descarte de resíduos sólidos: uma análise das políticas públicas e coleta seletiva da cidade de Maringá-PR. **Sustentabilidade, Meio Ambiente e Responsabilidade Social**, vol 2, 2024.

PORTAL RESÍDUOS SÓLIDOS. Reciclagem de Resíduos da Construção Civil. [s.d.] Disponível em: <https://portalresiduossolidos.com/reciclagem-de-residuos-solidos-da-construcao-civil/> . Acesso em: 19.06.2024.

QUÉHEILLE, E.; VENTURA, A.; SAIYOURI, N.; TAILLANDIER, F. A Life Cycle Assessment model of End-of-life scenarios for building deconstruction and waste management. **Journal of Cleaner Production**, 339, 2022.

RAM, V. G.; KISHORE, K. C.; KALIDINDI, S. N. Environmental benefits of construction and demolition debris recycling: Evidence from an Indian case study using life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 255, 2020.

RESENDE, M. H. **Potencial de reciclagem dos resíduos de construção civil e demolição de Rio Verde-GO**. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto Federal Goiano, 2023.

ROSADO, L.P.; PENTEADO, C.S.G. Life cycle assessment of construction and demolition waste management in a large area of São Paulo State, Brazil. **Waste Management**, v. 85, p. 477–489, 2019a.

ROSADO, L. P.; PENTEADO, C. S. G. Life cycle assessment of municipal construction and demolition waste management system of Campinas Metropolitan Region | Avaliação do ciclo de vida do sistema municipal de gerenciamento de resíduos da construção civil da região metropolitana de Campinas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 71–82, 2019b.

SILVA, F.B.; OLIVEIRA, L.A.; YOSHIDA, O.S.; JOHN, V.M. Variability of environmental impact of ready-mix concrete: a case study for Brazil. **IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.** 323 012132, 2019.

SILVA, R., ARAGÃO, J. V., MATOS, P. H., MILANEZ, V. F., MACEDO, J. S., DUARTE, A. D., COSTA, A. Life Cycle Analysis of Dye Degradation Using Advanced Oxidative Processes. **Chemical Engineering Transactions**, 86, 589-594. 2021.

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, 2024. Disponível em < [https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-composicoes-aferidas-sumario-composicoesferidas/sumario\\_de\\_publicacoes\\_e\\_documentacao\\_do\\_sinapi.pdf](https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-composicoes-aferidas-sumario-composicoesferidas/sumario_de_publicacoes_e_documentacao_do_sinapi.pdf)> Acesso em 15 de março de 2024.

SINIR. Sistema Nacional de informações sobre a gestão dos resíduos sólidos. Painel de destinação 2020, Caruaru-PE. Disponível em < [https://sinir.gov.br/paineis /destinacao />](https://sinir.gov.br/paineis/destinacao/). Acesso em 15 de março de 2024.

SU, S.; LI, S.; JU, J.; WANG, Q.; XU, Z. A building information modeling-based tool for estimating building demolition waste and evaluating its environmental impacts. **Waste Management**, v. 134, p. 159–169, 2021.

ULUCAN, M.; ALYAMAC, K. E. A holistic assessment of the use of emerging recycled concrete aggregates after a destructive earthquake: Mechanical, economic and environmental. **Waste Management**, v. 146, p. 53–65, 2022.

VIANA, L. D. P.; BUSTAMANTE-TEIXEIRA, M. T.; MALTA, D. C.; GIRARDI, F. A.; NOGUEIRA, M. C.; PASSOS, V. M. D. A.; GUERRA, M. R. Mortalidade e carga do câncer de laringe atribuíveis aos riscos ocupacionais no Brasil: estudo da Carga Global de Doença, 2019. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, 49, edepi9, 2024.

VOLK, R.; STEINS, J.J.; KREFT, O.; SCHULTMANN, F. Life cycle assessment of post-demolition autoclaved aerated concrete (AAC) recycling options. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 188, 2023.

WANG, T.; LI, K.; LIU, D.; YANG, Y.; WU, D. Estimating the Carbon Emission of Construction Waste Recycling Using Grey Model and Life Cycle Assessment: A Case Study of Shanghai. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 14, 2022.

WASKOW, R.; GONÇALVES MACIEL, V.; TUBINO, R.; PASSUELLO, A. Environmental performance of construction and demolition waste management strategies for valorization of recycled coarse aggregate. **Journal of Environmental Management**, v. 295, 2021.

WU, H.; ZUO, J.; ZILLANTE, G.; WANG, J.; DUAN, H. Environmental impacts of cross-regional mobility of construction and demolition waste: An Australia Study. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 174, 2021.

WU, H., ZUO, J., ZILLANTE, G., WANG, J., YUAN, H. Status quo and future directions of construction and demolition waste research: a critical review. **Journal of Cleaner Production**, 2019.

YAZDANBAKHSI, A.; LAGOUIN, M. The effect of geographic boundaries on the results of a regional life cycle assessment of using recycled aggregate in concrete. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 143, p. 201–209, 2019.

YU, Y.; ZHAO, X.; XIE, T.; WANG, X. Eco-, economic- and mechanical- efficiencies of using precast rejects as coarse aggregates in self-compacting concrete. **Case Studies in Construction Materials**, v. 17, 2022.

ZHANG, J.; DING, L.; LI, F.; PENG, J. Recycled aggregates from construction and demolition wastes as alternative filling materials for highway subgrades in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 255, 2020.

ZHANG, C. B.; HU, M. M.; VAN DER MEIDE, M.; DI MAIO, F.; YANG, X. N.; GAO, X. F.; LI, K.; ZHAO, H. L.; LI, C. Life cycle assessment of material footprint in recycling: A case of concrete recycling. **Waste Management**, 155, 311–319, 2023.

ZHAO, Y.; GOULIAS, D.; TEFA, L.; BASSANI, M. Life cycle economic and environmental impacts of cdw recycled aggregates in roadway construction and rehabilitation. **Sustainability** (Switzerland), v. 13, n. 15, 2021.

ZHAO, Z.; COURARD, L.; GROSLAMBERT, S.; LÉONARD, A.; XIAO, J. Use of recycled concrete aggregates from precast block for the production of new building blocks: An industrial scale study. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 157, 2020.

ZHOU, A.; ZHANG, W.; WEI, H.; ZOU, D.; GUO, H. A novel approach for recycling engineering sediment waste as sustainable supplementary cementitious materials. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 167, 2021.

ZHOU, A.; HUINAN, W. A.; HENGHUI, G. B.; WENJIE, Z. A. C.; TIEJUN, L. A.; DUJIAN, Z. A. Mechanical performance and environmental potential of concrete with engineering sediment waste for sustainable built environment. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 189, 2023a.

ZHOU, A.; LI, K.; LIU, T.; XIAO, J.; LUAN, C. Recycling and optimum utilization of engineering sediment waste into low-carbon geopolymer paste for sustainable infrastructure. **Journal of Cleaner Production**, v. 383, 2023b.



## APÊNDICE A: RESUMO DA REVISÃO SISTEMÁTICA

**Tabela 9** - Artigos pertencentes à análise principal.

| AUTORES                       | TÍTULO                                                                                                                 | METODOLOGIA                                                                        | OBJETIVOS E RESULTADOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (KHAN <i>et al.</i> , 2023).  | <i>3D printing of circular materials: Comparative environmental analysis of materials and construction techniques.</i> | ACV de cenários de produção de geopolímeros com a utilização de RCC.               | O presente estudo teve como objetivo avaliar os potenciais vantagens e desvantagens ambientais da utilização de tecnologia de impressão 3D à base de materiais geopoliméricos para impressão de estruturas. Como principal resultado os autores apontam a redução de impactos ambientais, comprovada através da ACV, e significativa redução de RCC quando comparado com modelos construtivos tradicionais. |
| (CHICA <i>et al.</i> , 2023). | <i>Technical Viability and Life Cycle Assessment to Excavated Soil and CDW Blends for Hydraulic Applications.</i>      | ACV de cenários de produção de pré-fabricados de concreto com a utilização de RCC. | O presente trabalho avaliou a eficiência da incorporação de RCC na produção de elementos hidráulicos pré-fabricados. Como resultado os autores apontam a eficiência no uso destes materiais na mistura como substituição a parte dos agregados, promovendo redução de impacto ambiental e trabalhabilidade em substituições inferiores a                                                                    |

|                                 |                                                                                                                                                                    |                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 |                                                                                                                                                                    |                                                                                                  | 30%.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| (MIR <i>et al.</i> , 2023).     | <i>Construction and demolition waste-based self-healing geopolymer composites for the built environment: An environmental profile assessment and optimization.</i> | ACV de cenários de produção de geopolímeros com a utilização de RCC (cerâmica vermelha e vidro). | O presente estudo teve como objetivo avaliar o ciclo de vida do berço ao portão de novos geopolímeros autorregenerativos 100% baseados em RCC com o objetivo de otimizar a implicação ambiental do processo de produção e do produto, foram utilizados resíduos de cerâmicas vermelhas, de concreto, de vidro e de concreto reciclado. Como resultado, os autores apontam o cenário da mistura de RCC e escória de forno como o mais promissor ambientalmente. |
| (ZHOU <i>et al.</i> , 2023a).   | <i>Mechanical performance and environmental potential of concrete with engineering sediment waste for sustainable built environment.</i>                           | Determinação experimental de mistura de resíduos para produção de cimento Portland.              | O presente estudo visa avaliar a reciclagem de resíduos de sedimentos de engenharia via calcinação e posterior utilização como substituto do cimento em concreto para construção civil. Como resultado os autores apontam que o concreto com 50% de substituição RCC calcinado apresentou desempenho ambiental e benefício econômico superiores aos do concreto de referência.                                                                                 |
| (NEŽERKA <i>et al.</i> , 2023). | <i>Recycling of fines from waste concrete: Development of lightweight</i>                                                                                          | Avaliação de resistência para concreto com                                                       | O presente artigo teve como objetivo avaliar a eficiência de blocos leves                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

|                      |                                                                                                                                    |                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                      | <i>masonry blocks and assessment of their environmental benefits.</i>                                                              | adição de RCC.                                            | contendo as melhores frações de resíduos de concreto juntamente com um estudo holístico do desempenho estrutural e ambiental do produto desenvolvido. Como resultado, os autores demonstram a viabilidade de tal estratégia de reciclagem e seus benefícios ambientais, entretanto, apesar de substituir 60% em peso de cimento <i>Portland</i> , a pegada de carbono encontrada não é desprezível.                                                                                                                                                     |
| (ZHOU et al., 2023). | <i>Recycling and optimum utilization of engineering sediment waste into low-carbon geopolymers for sustainable infrastructure.</i> | Avaliação de resistência para concreto com adição de RCC. | O presente estudo teve como objetivo avaliar a utilização de resíduos de escavação como base para concreto geopolimérico com emprego de calcinação e ativação. Como resultado os autores demonstram que a resistência à compressão da pasta de geopolímero reciclado pode chegar a 50 Mpa e redução de 39% de emissões de CO <sub>2</sub> através da análise de ACV. A partir da avaliação multicritério os autores apontam que considerando propriedades mecânicas, desempenho de trabalho, emissões de carbono, consumo de energia e custo, e a pasta |

|                                      |                                                                                                                                                                                 |                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                      |                                                                                                                                                                                 |                                                            | de geopolímero apresenta melhor desempenho geral quando comparada a produção convencional.                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| (VOLK <i>et al.</i> , 2023).         | <i>Life cycle assessment of post-demolition autoclaved aerated concrete (AAC) recycling options.</i>                                                                            | AVC para cenários de destinação final de RCC de concreto.  | O presente estudo teve como objetivo avaliar o ciclo de vida de diferentes opções de reciclagem de Concreto Aerado Autoclavado para definir a melhor opção de fim de vida. Como resultado os descrevem que especialmente a reciclagem em circuito fechado tem um alto potencial de redução de impactos ambientais quando comparada ao descarte convencional em aterros sanitários. |
| (FERRONATO <i>et al.</i> , 2023).    | <i>Comparison of environmental impacts related to municipal solid waste and construction and demolition waste management and recycling in a Latin American developing city.</i> | AVC de cenários de destinação de RSU, especificamente RCC. | O presente estudo teve como objetivo comparar os impactos ambientais produzidos pela gestão de RCC e Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Como resultado os autores apontam que em nível municipal, a má gestão dos RCC contribui com mais de 60% para a ecotoxicidade aquática de água doce, que representa o impacto mais relevante gerado por esse fluxo de resíduos.                |
| (LLATAS; QUIÑONES & BIZCOCHO, 2022). | <i>Environmental Impact Assessment of Construction Waste Recycling versus</i>                                                                                                   | Avaliação de desempenho de ferramenta                      | O presente estudo teve como objetivo avaliar uma ferramenta de automação                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

|                       |                                                                                                                                |                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                       | <i>Disposal Scenarios Using an LCA-BIM Tool during the Design Stage.</i>                                                       | computacional utilizando BIM para propor destinação e redução de impactos ambientais de RCC através de ACV. | de escolha para descarte ou reciclagem de RCC baseada em ACV e BIM. Como resultado os autores descrevem que no cenário avaliado até 99% dos resíduos não perigosos eram recicláveis ou reutilizáveis, e para os materiais concreto, aço e plásticos a reciclagem mostrou-se como a melhor opção, pois evita 1,4 vezes as emissões do cenário de descarte e economiza 85 vezes o consumo de energia.                                                          |
| (YU et al., 2022).    | <i>Eco-, economic- and mechanical- efficiencies of using precast rejects as coarse aggregates in self-compacting concrete.</i> | AVC de cenários de destinação de RCC.                                                                       | O presente artigo teve como objetivo investigar as propriedades ecológicas, econômicas e mecânicas do concreto autoadensável contendo agregados graúdos reciclados gerados a partir de rejeitos de concreto pré-fabricado ou de RCC. Como resultado os autores descrevem que o concreto à produzido apresenta benefícios ecológicos, ambientais e econômicos em relação ao convencional, com propriedades reológicas e mecânicas ligeiramente comprometidas. |
| (KHAN et al., 2022a). | <i>Energy-environmental performance assessment and cleaner energy</i>                                                          | AVC para cenários de produção de geopolímeros                                                               | O presente estudo teve como objetivo analisar a sustentabilidade ambiental                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

|                               |                                                                                                                          |                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                               | <i>solutions for a novel Construction and Demolition Waste-based geopolymer binder production process.</i>               | utilizando RCC.                                                  | de geopolímeros recém-desenvolvidos contendo resíduos de cerâmica vermelha, de vidro e aglutinantes geopolímeros. Como resultados os autores apresentam que em comparação com o cimento Portland comum, todos os geopolímeros à base de RCC tiveram menor impacto ambiental. No entanto, devido aos processos intensivos em energia de britagem e moagem de RCC, a energia elétrica é identificada como um ponto fraco ambiental, sendo reduzido quando produzida a partir de energia hidrelétrica, eólica e fotovoltaica, depois de recursos geotérmicos e de biomassa. |
| (KHAN <i>et al.</i> , 2022b). | <i>Renewable energy for carbon footprint reduction of green geopolymers material's production for built-environment.</i> | ACV de cenários de consumo de energia para processamento de RCC. | O presente estudo teve como objetivo avaliar a sustentabilidade de materiais produzidos a partir de RCC. Como resultado os autores apontam a energia elétrica necessária para britagem e moagem de RCC como um ponto crítico para o reaproveitamento, os autores ainda descrevem a possibilidade de redução de impacto através de                                                                                                                                                                                                                                        |

|                                   |                                                                                                                                                                    |                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                   |                                                                                                                                                                    |                                                                     | utilização de energia elétrica de fontes menos impactantes (Energias renováveis).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| (MIR <i>et al.</i> , 2022).       | <i>Construction and demolition waste-based self-healing geopolymer composites for the built environment: An environmental profile assessment and optimization.</i> | ACV de cenários de utilização de RCC para produção de geopolímeros. | O presente estudo teve como objetivo realizar uma ACV em um novo processo para produzir aglutinantes de geopolímeros para fabricação aditiva tridimensional a partir de RCC. Como resultados os autores apresentam que a utilização dos materiais produziu significativa redução de impactos, cerca de 21% comparado com o concreto tradicional, entretanto o consumo de eletricidade contribui em mais de 60% dos impactos, sendo sugerido avaliação da utilização de fontes renováveis. |
| (MENEGATTI <i>et al.</i> , 2022). | <i>Environmental Performance of Deconstructable Concrete Beams Made with Recycled Aggregates.</i>                                                                  | ACV de cenários para vigas pré-fabricadas.                          | O presente trabalho teve como objetivo analisar o desempenho ambiental de Vigas Desmontáveis e Reutilizáveis pré-fabricadas devidamente dimensionadas e dimensionadas com incorporação de Agregados de Betão Reciclado montadas através de um sistema inovador baseado na técnica de protensão memory®-steel através de                                                                                                                                                                   |

|                                |                                                                                                                                             |                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                |                                                                                                                                             |                                                                                | ACV com uma abordagem do berço ao portão. Como resultado verificou-se que, devido à maior quantidade de pós-tensionamento necessária para o modelo proposto, houve redução do desempenho ambiental em relação as vigas tradicionais.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| (BANIAS <i>et al.</i> , 2022). | <i>Environmental Assessment of Alternative Strategies for the Management of Construction and Demolition Waste: A Life Cycle Approach.</i>   | ACV de cenários de destinação de RCC.                                          | O presente estudo avaliou os impactos ambientais promovidos pela demolição de um prédio público na Grécia, pelas estratégias de cenários como reciclagem, reutilização e incineração, através de ACV utilizando o <i>software</i> SimaPro e o banco de dados <i>Ecoinvent v.3 Life Cycle Inventory</i> . Como resultados os autores descrevem que o pior cenário foi quando a demolição não utilizou a triagem dos materiais e destinou os resíduos para aterro sanitário, por outro lado os cenários com triagem e reciclagem apresentaram os melhores resultados ambientais. |
| (WANG <i>et al.</i> , 2022).   | <i>Estimating the Carbon Emission of Construction Waste Recycling Using Grey Model and Life Cycle Assessment: A Case Study of Shanghai.</i> | ACV para definição de emissões de carbono nas fases de projeto de edificações. | O presente estudo teve como objetivo quantificar as emissões de carbono nas fases de projeto, construção e operação cidade de Xangai, China. Como resultado os autores                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |



|                                |                                                                                                                                                          |                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                |                                                                                                                                                          |                                                                   | apresentam redução de emissão de 100,4 kg de CO <sub>2</sub> por tonelada de agregado reciclado.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| (HAIDER <i>et al.</i> , 2022). | <i>Life Cycle Assessment of Construction and Demolition Waste Management in Riyadh, Saudi Arabia.</i>                                                    | ACV para cenários de gestão de RCC.                               | O presente estudo teve como objetivo avaliar os impactos ambientais promovidos em cenários de gestão de RCC na Arabia Saudita, através de ACV. Como resultado os autores apresentam que os cenários com maior aproveitamento, reciclagem, demonstraram maior desempenho ambiental. Os autores ainda sugerem a utilização dos agregados produzidos em aterros, fabricação de concreto pré-moldado, revestimentos e fundações de adutoras e esgotos, construção de bueiros, muros sem carga e estradas. |
| (ULUCAN & ALYAMAC, 2022).      | <i>A holistic assessment of the use of emerging recycled concrete aggregates after a destructive earthquake: Mechanical, economic and environmental.</i> | ACV para cenários de utilização de RCC para produção de concreto. | O presente estudo teve como objetivo examinar as propriedades mecânicas, ambientais e econômicas de concretos agregados reciclados produzidos com agregados de concreto reciclado de demolição. Como resultado os autores descrevem desempenho ambiental e econômico da utilização destes agregados.                                                                                                                                                                                                  |

|                                         |                                                                                                                                                                     |                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>(AMAN <i>et al.</i>, 2022).</p>      | <p><i>Comparative life cycle assessment of pervious concrete production in Malaysia with natural and recycled aggregate.</i></p>                                    | <p>ACV de cenários de produção de concreto utilizando RCC.</p>                                        | <p>O presente estudo avaliou a eficiência ambiental da utilização de agregados reciclados na produção de concreto através da ACV, com utilização do Software GABI. Como resultado os autores apresentam melhoria nas condições ambientais com a utilização dos materiais reciclados, sendo o principal achado a redução de 3,8% no risco de eutrofização.</p>                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <p>(FERRONATO <i>et al.</i>, 2022).</p> | <p><i>Environmental assessment of construction and demolition waste recycling in Bolivia: Focus on transportation distances and selective collection rates.</i></p> | <p>ACV para avaliação de cenários de gestão de RCC, especificamente voltados a economia circular.</p> | <p>O presente estudo teve como objetivo avaliar os benefícios da reciclagem dos RCC inertes em função da taxa de coleta seletiva, definida como a quantidade de resíduos (%p.) separados na fonte em relação ao total de resíduos produzidos, e as distâncias de a geração de RCC para a instalação de reciclagem de materiais. Os resultados da pesquisa sugerem que o aumento das taxas de coleta seletiva (5% a 99%) amplia a importância do planejamento das distâncias de transporte, pois afeta a magnitude dos impactos ambientais. Verificou-se também que os limites de transporte devem ser inferiores a</p> |

|                                    |                                                                                                                                                   |                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                    |                                                                                                                                                   |                                                                                 | cerca de 40 km, a fim de tornar a reciclagem benéfica.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| (RUIZ <i>et al.</i> , 2022)        | <i>Multicriteria analysis of the environmental and economic performance of circularity strategies for concrete waste recycling in Spain.</i>      | Avaliação Multicritério e ACV para utilização de RCC para produção de concreto. | O presente estudo teve como principal objetivo propor um conjunto de etapas metodológicas para identificar as alternativas ótimas de circularidade para produtos RCC com base em uma análise multicritério de seu desempenho ambiental, através de ACV, e econômico. Como resultado os autores descrevem vantagens ambientais e econômicas sobre o concreto convencional, principalmente devido à influência do aterro e das distâncias de transporte. |
| (IVANICA <i>et al.</i> , 2022)     | <i>Development of a life cycle inventory database and life cycle impact assessment of the building demolition stage: A case study in Germany.</i> | Construção de ICV.                                                              | O presente estudo teve como objetivo desenvolver um banco de dados de inventário de ciclo de vida das etapas de demolição do edifício. Como resultado os autores apresentaram o banco de dados da avaliação.                                                                                                                                                                                                                                           |
| (GHISELLINI <i>et al.</i> , 2021). | <i>Potential energy savings from circular economy scenarios based on construction and agri-food waste in Italy.</i>                               | ACV de cenários de reciclagem de RCC.                                           | O presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial de economia de energia obtido com a reciclagem de 1 tonelada de RCC. Como resultado os autores descrevem que a opção de reciclagem para                                                                                                                                                                                                                                                       |

|                                       |                                                                                                                             |                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                       |                                                                                                                             |                                                                                         | <p>RCC é melhor do que a deposição em aterro, bem como que a produção de agregados reciclados é ambientalmente sustentável. Os autores ainda apresentam que para a Economia Circular oferece muitas oportunidades para melhorar o desempenho energético e ambiental do setor da construção no ciclo de vida dos materiais de construção por meio de estratégias internas de reciclagem, bem como a reciclagem externa através da utilização de insumos de outros setores para a fabricação de materiais de construção. Desta forma, o setor de C&amp;D também contribui para realizar a transição energética e bioeconômica ao desvencilhar-se da dependência de combustíveis fósseis.</p> |
| (COLANGELO; PETRILLO & FARINA, 2021). | <p><i>Comparative environmental evaluation of recycled aggregates from construction and demolition wastes in Italy.</i></p> | <p>ACV de cenários de utilização de RCC para produção de concreto, baseado nos ODS.</p> | <p>O presente estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade de produzir concreto estrutural utilizando agregados reciclados de RCC, observando os ODS, através de ACV. Como principais resultados os autores descrevem que misturas formadas por</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

|                                 |                                                                                                                                                        |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 |                                                                                                                                                        |                                         | agregados graúdos reciclados apresentam redução de impactos ambientais que a amostra formada exclusivamente por agregados graúdos naturais e os resultados melhoram quando a quantidade de agregado graúdo reciclado é maior.                                                                                                                                                                                              |
| (ANTUNES <i>et al.</i> , 2021). | <i>Environmental impacts and benefits of the end-of-life of building materials: Database to support decision making and contribute to circularity.</i> | Criação de ICV.                         | O presente estudo teve como objetivo criar um banco de dados genérico de impactos ambientais, baseado na ACV e de acordo com as normas europeias. Como principais resultados os autores descrevem que a base de dados proposta pode ser uma ferramenta importante e útil para a tomada de decisão sobre o fim de vida dos materiais de construção, uma vez que é concebida para maximizar a sua reutilização e reciclagem. |
| (WU <i>et al.</i> , 2021).      | <i>Environmental impacts of cross-regional mobility of construction and demolition waste: An Australia Study.</i>                                      | ACV para cenários de reciclagem de RCC. | O presente estudo teve como objetivo avaliar o impacto ambiental da mobilidade de resíduos para destinação. Como resultado os autores apresentam que se a taxa de reciclagem passasse de 50%, promove-se a neutralização de impactos. Além disso os autores apontam que se a                                                                                                                                               |

|                                 |                                                                                                                                             |                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 |                                                                                                                                             |                                                                                                       | <p>mobilidade interregional dos resíduos da RCC aumenta a taxa geral de reciclagem dos resíduos gerados em todas as regiões envolvidas, isso pode reduzir os impactos ambientais e geração de resíduos e vice-versa.</p>                                                                                                                                                                                                     |
| (MOSTERT <i>et al.</i> , 2021). | <p><i>Climate and resource footprint assessment and visualization of recycled concrete for circular economy.</i></p>                        | <p>ACV para investigação de pegada de carbono em utilização de RCC para produção de concreto.</p>     | <p>O estudo teve como objetivo avaliar as emissões de gases de efeito estufa em relação ao uso de recursos de concreto reciclado. Como resultado os autores apresentam que o concreto com adição de RCC pode diminuir a pegada do material em até 50%, enquanto o potencial de redução da pegada climática é limitado e a pegada hídrica pode ser até dez vezes maior com o processamento úmido de resíduos de concreto.</p> |
| (SU <i>et al.</i> , 2021).      | <p><i>A building information modeling-based tool for estimating building demolition waste and evaluating its environmental impacts.</i></p> | <p>Criação de metodologia BIM-ACV-GIS para quantificação de impactos ambientais causados por RCC.</p> | <p>O presente estudo teve como objetivo desenvolver metodologia para estimar a quantidade de RCC e quantificar seus impactos, através de BIM, ACV e GIS. Como resultado o estudo fornece uma ferramenta operável para avaliação e gerenciamento de resíduos na fase de projeto.</p>                                                                                                                                          |
| (WASKOW <i>et al.</i> ,         | <i>Environmental performance</i>                                                                                                            | ACV para cenários                                                                                     | O presente estudo teve                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

|                                |                                                                                                                                                  |                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2021).                         | <i>of construction and demolition waste management strategies for valorization of recycled coarse aggregate.</i>                                 | de gestão de RCC.                                         | como objetivo avaliar os impactos ambientais de diferentes estratégias de gestão de RCC. Como resultado os autores apontam que as estratégias de reciclagem diferem na eficiência da segregação, na qualidade do material reciclado produzido e no desempenho ambiental, ambas as estratégias de reciclagem proporcionaram benefícios ambientais quando comparadas ao agregado natural. Além disso os resultados sugerem que a produção e o transporte de RCC são viáveis do ponto de vista ambiental em grandes centros urbanos. |
| (LACHAT <i>et al.</i> , 2021). | <i>From buildings' end of life to aggregate recycling under a circular economic perspective: A comparative life cycle assessment case study.</i> | ACV em cenários de produção de agregados a partir de RCC. | O presente estudo teve como objetivo avaliar os impactos ambientais da produção de agregados reciclados de RCC, através da ACV. Como resultado os autores descrevem que o transporte de resíduos, seu tratamento e, principalmente, o tratamento do amianto são as fases mais impactantes.                                                                                                                                                                                                                                        |
| (ZHAO <i>et al.</i> , 2021).   | <i>Life cycle economic and environmental impacts of cdw recycled aggregates in roadway construction and rehabilitation.</i>                      | ACV em cenários de utilização de RCC.                     | O presente estudo teve como principal objetivo avaliar quantitativamente os benefícios econômicos e ambientais do ciclo de vida quando agregados de                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

|                                |                                                                                                              |                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                |                                                                                                              |                                                                                  | RCC estabilizados alternativos são usados na construção de pavimentos. Como resultado os autores apontam que o uso de agregado de RCC estabilizado resulta em considerável economia de custos e benefícios ambientais devido ao menor consumo de energia e geração de emissões durante o processamento do material e redução na disposição em aterros. |
| (IODICE <i>et al.</i> , 2021). | <i>Sustainability assessment of Construction and Demolition Waste management applied to an Italian case.</i> | Utilização de avaliação multicritério para criação de índice de sustentabilidade | O presente estudo teve como objetivo avaliar as implicações socioeconômicas e ambientais da gestão de RCC com o objetivo de documentar os benefícios das ações de reciclagem e evitar o aterro. Como resultado os autores descrevem o potencial econômico, ambiental e social do processo, inclusive a geração de empregos diretos e indiretos.        |
| (LLATAS <i>et al.</i> , 2021). | <i>An LCA-based model for assessing prevention versus non-prevention of construction waste in buildings.</i> | Utilização de ACV em cenários construtivos de edifícios.                         | O presente estudo teve como objetivo criar um modelo para simular o desempenho ambiental da prevenção e não prevenção de desperdício na construção civil. Como resultado os autores apresentam que o cenário                                                                                                                                           |



|                        |                                                                                                                                  |                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                        |                                                                                                                                  |                                                                       | de prevenção reduz o consumo em até 57% em comparação ao modelo não sustentável. Além disso, permite uma redução potencial de até 4,6 a 171,1 vezes o impacto causado pelo cenário de descarte; e até 1,7 a 8,3 vezes as do cenário da reciclagem.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| (ZHOU et al., 2021).   | <i>A novel approach for recycling engineering sediment waste as sustainable supplementary cementitious materials.</i>            | Utilização de ACV para os cenários de descarte e reciclagem de RCC.   | O presente estudo teve como objetivo avaliar a utilização de agregados calcinados produzidos a partir de RCC na produção de concreto, através de ACV. Como resultados os autores demonstram potencial mecânico, avaliado experimentalmente, o agregado de RCC pode promover a hidratação secundária na argamassa, melhorando a resistência à compressão. Além disso o método de reciclagem proposto pode economizar 1.204,1 MJ/t de consumo de energia e 326,1 kg CO <sub>2</sub> eq/t de potencial de aquecimento global em comparação com o método de aterro sanitário. |
| (AGRELA et al., 2021). | <i>Environmental assessment, mechanical behavior and new leaching impact proposal of mixed recycled aggregates to be used in</i> | Avaliação de resistência mecânica na utilização de RCC como camada de | O presente trabalho teve como objetivo avaliar a utilização de agregados mistos reciclados de RCC na construção de camadas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

|                                       |                                                                                                                                        |                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                       | <i>road construction.</i>                                                                                                              | base em rodovias, utilização do método Proctor.                                        | rodoviárias. Como resultado os autores apresentam que as amostras apresentaram um comportamento mecânico adequado para uso na formação de camadas rodoviárias e sua utilização promove redução de impactos ambientais quando comparados a agregados naturais na formação de camadas rodoviárias.                                         |
| (JALAEI; ZOGHI & KHOSHAND, 2021).     | <i>Life cycle environmental impact assessment to manage and optimize construction waste using Building Information Modeling (BIM).</i> | Utilização de BIM e ACV para desenvolvimento de metodologia de gestão de RCC.          | O presente estudo teve como objetivo criar uma metodologia utilizando BIM e ACV para quantificar o total de resíduos produzidos no ciclo de vida de uma edificação. Como resultado os autores apresentaram um estudo de caso para validação do método.                                                                                   |
| (MOUSAVI; VENTURA & ANTHEAUME, 2020). | <i>Decision-based territorial life cycle assessment for the management of cement concrete demolition waste.</i>                        | Utilização de ACV para avaliação de impactos gerados pelas rotas de destinação de RCC. | O presente estudo teve como objetivo avaliar a logística de RCC reciclados, na França, através de ferramentas de georreferenciamento e ACV. Como resultado os autores descrevem que a quantidade de concreto de cimento reciclado é apenas 7% do total de RCC consumidos, embora 90% dos resíduos de demolição de cimento e concreto são |

|                                   |                                                                                                                      |                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                   |                                                                                                                      |                                                                                               | reciclados e que a construção de plantas de reciclagem próximo aos geradores de RCC reduziriam os custos e impactos ambientais do processo.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| (PARK <i>et al.</i> , 2020).      | <i>Identifying the major construction wastes in the building construction phase based on life cycle assessments.</i> | Utilização de ACV para quantificação do impacto causado pelo desperdício na construção civil. | O presente objetivo teve como objetivo identificar os principais resíduos gerados durante a fase de construção por meio de ACV. Para fazer isso, a quantidade de resíduos gerados na fase de construção foi deduzida usando a taxa de perda e conversões de peso. Como resultado os autores apresentam cinco principais materiais desperdiçados: concreto, vergalhão, cimento, painel de poliestireno e bloco de concreto. Os resultados de caracterização revelaram que concreto, bloco de concreto e resíduos de cimento foram responsáveis por mais de 70% do nível de contribuição em todos os impactos ambientais. |
| (COLANGELO <i>et al.</i> , 2020). | <i>Comparative LCA of concrete with recycled aggregates: a circular economy mindset in Europe.</i>                   | Utilização de ACV para cenários de reciclagem de agregados para produção de concreto.         | O presente estudo teve como objetivo avaliar a utilização de RCC em concreto através da ACV, utilizando SimaPro e banco de dados Ecoinvent 3.3 e Impact 2002+. Como                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

|                              |                                                                                                                                     |                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                              |                                                                                                                                     |                                                                                                       | resultados os autores apontam que o concreto com 25% de agregados reciclados é a melhor solução do ponto de vista ambiental. Além disso, as misturas de geopolímeros podem ser uma alternativa válida para reduzir o fenômeno do “aquecimento global.                                                                                                  |
| (LI <i>et al.</i> , 2020).   | <i>Environmental impact assessment of mobile recycling of demolition waste in Shenzhen, China.</i>                                  | Utilização de ACV para cenários de reciclagem de RCC.                                                 | O presente estudo teve como objetivo avaliar os impactos ambientais e o benefício associado à reciclagem móvel de RCC, através de ACV e georreferenciamento. que foi negligenciado em estudos anteriores sobre o tema. Como resultado os autores apresentam benefício financeiro do tratamento do RCC de cerca de US\$ 0,38/ton.                       |
| (ZHAO <i>et al.</i> , 2020). | <i>Use of recycled concrete aggregates from precast block for the production of new building blocks: An industrial scale study.</i> | Utilização de ACV e ensaios mecânicos para cenários de reciclagem de agregados em blocos de concreto. | O presente estudo teve como objetivo investigar a viabilidade e impactos ambientais do uso de RCC obtido de blocos de concreto pré-moldados antigos para a produção em escala industrial de novos blocos, na Bélgica. Como resultado os autores descrevem cenários com diferentes taxas de substituição (0%, 30% e 100%) de agregados naturais e que a |

|                               |                                                                                                                                            |                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                               |                                                                                                                                            |                                                                                              | <p>incorporação de RCC diminui ligeiramente a resistência à compressão e prejudica a durabilidade dos blocos de concreto. No entanto, a resistência à compressão de blocos de concreto feitos com 100% RCC pode chegar a 11,1 MPa após 28 dias, o que está dentro do exigido pelos códigos belgas para esse tipo de bloco. Os blocos de concreto produzidos com 30% e 100% de RCC atingiram os requisitos mecânicos exigidos e redução de impactos ambientais, quando comparados ao método tradicional.</p> |
| (ZHANG <i>et al.</i> , 2020). | <p><i>Recycled aggregates from construction and demolition wastes as alternative filling materials for highway subgrades in China.</i></p> | <p>Utilização de ACV para reciclagem de agregados de RCC em camadas de base de rodovias.</p> | <p>O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência e impactos ambientais do uso de agregados reciclados de RCC em leitos de rodovias em Pequim. Como resultado os autores apresentam que a aplicação dos RCC possui bom desempenho, inclusive apresentando menores deformações que o método utilizando agregados convencionais. Os autores também descrevem a melhoria ambiental promovida pelo método.</p>                                                                                       |

|                                   |                                                                                                                                                |                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (RAM; KISHORE & KALIDINDI, 2020). | <i>Environmental benefits of construction and demolition debris recycling: Evidence from an Indian case study using life cycle assessment.</i> | Utilização de ACV para gestão de RCC, relativas a cenários de destinação. | O presente estudo teve como objetivo avaliar o impacto ambiental em cenários de destinação de RCC, através do método IMPACT 2002+ usando o <i>software</i> Simpro. Como resultados os autores apresentam que os cenários de reciclagem geram benefícios ambientais em todas as 15 categorias de impacto e que a reciclagem continua benéfica em comparação com o aterro sanitário, desde que o consumo de diesel e eletricidade da instalação de reciclagem de detritos seja controlado.    |
| (PAVLU; KOCÍ & HÁJEK, 2019).      | <i>Environmental assessment of two use cycles of recycled aggregate concrete.</i>                                                              | Utilização de ACV para ciclos de vida do concreto.                        | O presente estudo teve como objetivo comparar dois ciclos de uso de concreto com agregado natural e concreto com agregado reciclado de RCC, através de ACV. Como resultado os autores confirmam o potencial de utilização de agregados reciclados de alta qualidade provenientes de fontes locais em algumas aplicações em estruturas de edifícios. Além disso, a avaliação ambiental indica os benefícios do uso de materiais reciclados, como economia ambiental, especialmente a redução |

|                                      |                                                                                                                                        |                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                      |                                                                                                                                        |                                                                                       | do uso de recursos primários, energia incorporada e emissões incorporadas, bem como redução da pressão sobre os aterros sanitários.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| (YAZDANBAKHS<br>& LAGOUIN,<br>2019). | <i>The effect of geographic boundaries on the results of a regional life cycle assessment of using recycled aggregate in concrete.</i> | Utilização de ACV para cenários de produção de concreto a partir de agregados de RCC. | O presente estudo teve como objetivo avaliar a utilização de agregado de RCC na produção de concreto em Nova York, através de ACV. Como resultado os autores descrevem os benefícios econômicos e ambientais na utilização dos reciclados quando comparados ao método tradicional, inclusive quando a produção está nos limites metropolitanos da cidade os benefícios chegam a 100% em relação a destinação em aterros sanitários e 25% de redução de impactos ambientais. |
| (ROSADO & PENTEADO,<br>2019a).       | <i>Life cycle assessment of construction and demolition waste management in a large area of São Paulo State, Brazil.</i>               | Utilização de ACV para cenários de gestão de RCC.                                     | O presente estudo avaliou a gestão de RCC no Estado de São Paulo, através de avaliação de ciclo de vida atribucional. Foi considerada toda a gestão de R&D de responsabilidade da prefeitura municipal. Como resultado os autores destacam a redução de impactos ambientais relativa à                                                                                                                                                                                      |

|                                       |                                                                                                                                |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                       |                                                                                                                                |                                                                                     | recuperação de materiais, principalmente aqueles relacionados à reciclagem de aço, vidro e plásticos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| (CUENCA-MOYANO <i>et al.</i> , 2019). | <i>Environmental assessment of masonry mortars made with natural and recycled aggregates.</i>                                  | Utilização de ACV para análise de cenários de produção de argamassa utilizando RCC. | O presente estudo teve como objetivo avaliar a utilização de agregados de RCC para produção de argamassas, através da ACV com utilização do software SimaPro e metodologia ISO 14040 e ISO 14044. Como resultados os autores demonstraram que o uso do RCC ajudou a diminuir as cargas ambientais em quase todas as categorias de impacto devido à prevenção de impactos decorrentes do transporte e disposição de RCC em aterros sanitários, sendo necessário avaliar a distância entre os centros produtores e as unidades de reciclagem. |
| (ROSADO & PENTEADO, 2019b).           | <i>Life cycle assessment of municipal construction and demolition waste management system of Campinas Metropolitan Region.</i> | Utilização de ACV para avaliação de cenários de gestão de RCC.                      | O presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho ambiental dos da gestão de RCC dos municípios da região metropolitana de Campinas-SP, a partir da ACV com utilização do software SimaPro 8.2.0. Como resultado os autores descrevem que o desempenho ambiental atual com o cenário que                                                                                                                                                                                                                                            |



|  |  |  |                                                                                                                                                                                                                                       |
|--|--|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  | contempla uma taxa de reciclagem de 70% dos RCC apresenta redução de cerca de 22% de impactos ambientais, entretanto os cenários compostos por municípios distantes dos centros de reciclagem não apresentaram benefícios ambientais. |
|--|--|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Fonte: Os autores, 2024.

## APÊNDICE B – RESUMO DOS ARTIGOS PERTENCENTES A ANÁLISE COMPLEMENTAR.

| AUTORES                          | TÍTULO                                                                                                                                   | METODOLOGIA                                                                           | OBJETIVOS E RESULTADOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (ZHANG <i>et al.</i> , 2023)     | <i>Life cycle assessment of material footprint in recycling: A case of concrete recycling.</i>                                           | Utilização de ACV para análise de cenários de reciclagem.                             | O presente estudo teve como objetivo avaliar os impactos ambientais da reciclagem de concreto. Como resultado os autores apresentam que todos os cenários de reciclagem de concreto apresentam impacto ambiental positivo, entretanto o uso de combustíveis fosseis durante o processo mostrou desvantagem em relação a energias renováveis. |
| (QUÉHEILLE <i>et al.</i> , 2022) | <i>A Life Cycle Assessment model of End-of-life scenarios for building deconstruction and waste management.</i>                          | Utilização de ACV para análise dos cenários.                                          | O presente estudo teve como objetivo desenvolver um modelo de estimativa de impactos ambientais para resíduos de demolição ou desconstrução. Como resultado os autores apresentam o modelo e enfatizam não existir diferença significativa entre a desconstrução e a demolição.                                                              |
| (MAGER & BLASS, 2022)            | <i>From Illegal Waste Dumps to Beneficial Resources Using Drone Technology and Advanced Data Analysis Tools: A Feasibility Study.</i>    | Utilização de Imagens geradas por drones, GIS e ACV.                                  | O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência do monitoramento com drones para gestão de RCC. Como resultado os autores apresentam potencial de redução de custos e possível lucratividade com o modelo de gestão.                                                                                                               |
| (GUNARATNE <i>et al.</i> , 2022) | <i>Environmental potential of shredder fines valorisation.</i>                                                                           | Utilização de ACV e avaliação multicritério.                                          | O presente estudo teve como objetivo avaliar alternativas de destinação para agregados de RCC na Suécia. Como resultado os autores apontam inconclusão entre os cenários avaliados.                                                                                                                                                          |
| (BALAGUERA <i>et al.</i> , 2021) | <i>Stabilising Rural Roads with Waste Streams in Colombia as an Environmental Strategy Based on a Life Cycle Assessment Methodology.</i> | Utilização de ACV para cenários de utilização de agregados de RCC e outros materiais. | O presente estudo teve como objetivo avaliar cenários de utilização de agregados estabilizados em manutenções de estradas. Como resultado os autores apresentam o alto grau de impacto no cenário de utilização de cinza volante aliada a resíduos de cerâmica vermelha.                                                                     |
| (LIU <i>et al.</i> , 2020)       | <i>Economic and Environmental Assessment of Carbon Emissions from Demolition Waste Based on</i>                                          | Utilização de ACV e avaliação de custos para cenários de destinação de RCC.           | O presente estudo teve como objetivo avaliar 3 cenários de destinação de agregados de RCC, destinação para Aterros, reciclagem de agregados e produção de finos. Como resultado os autores                                                                                                                                                   |

|                               |                                                                                                                                                                    |                                                   |                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                               | <i>LCA and LCC.</i>                                                                                                                                                |                                                   | apresentam vantagem ambiental e econômica na utilização dos agregados, especialmente após beneficiamento.                                                                                               |
| (BANIAS <i>et al.</i> , 2020) | <i>A Life Cycle Analysis Approach for the Evaluation of Municipal Solid Waste Management Practices: The Case Study of the Region of Central Macedonia, Greece.</i> | Utilização de ACV para cenários de gestão de RCC. | O presente estudo teve como objetivo avaliar estratégias de gestão de RCC na Grécia. Como resultado os autores apresentam que a triagem adequada dos resíduos corrobora para a efetividade do processo. |

Fonte: Os autores, 2024.