



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE  
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E  
TERRITÓRIO (ILATIT)**

**ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA**

**CIRCULARIDADE NO PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E  
DEMOLIÇÃO  
UM ESTUDO DE CASO**

**ORNELLA VERONICA TONELLI MAIA**

Foz do Iguaçu  
2023



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE  
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E TERRITÓRIO  
(ILATIT)**

**ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA**

**CIRCULARIDADE NO PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E  
DEMOLIÇÃO  
UM ESTUDO DE CASO**

**ORNELLA VERONICA TONELLI MAIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura

Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Edna Possan

Foz do Iguaçu  
2023

Catálogo elaborado pelo Setor de Tratamento da Informação  
Catálogo de Publicação na Fonte. UNILA - BIBLIOTECA LATINO-AMERICANA - PTI

M217

Maia, Ornella Veronica Tonelli.

Circularidade no processamento de resíduo de construção e demolição: um estudo de caso / Ornella Veronica Tonelli Maia. - Foz do Iguaçu, 2023.

62 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana. Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território. Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura. Foz do Iguaçu-PR, 2023.

Orientador: Edna Possan.

1. Economia circular. 2. Resíduos de construção. 3. Agregado reciclado. I. Possan, Edna. II. Título.

CDU 691

ORNELLA VERONICA TONELLI MAIA

**CIRCULARIDADE NO PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E  
DEMOLIÇÃO  
UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Edna Possan  
UNILA

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Dayana Ruth Bola Oliveira  
PPGECI - UNILA

---

Eng. Robson Biela  
FUTURE | UNILA

Foz do Iguaçu, 16 de junho de 2023.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço aos meus pais Hélio e Rita. Não caberia em palavras a gratidão por todo apoio, suporte e dedicação que sempre recebi para que pudesse concluir esta jornada. Sem eles nada disso seria possível.

A minha família que sempre torceu por mim e vibrou por cada conquista.

A minha orientadora Edna, por confiar em mim e me proporcionar diferentes oportunidades durante a graduação, além de cada minuto dedicado a ensinar e compartilhar seu conhecimento, principalmente nesta reta final. Cada linha deste trabalho de conclusão de curso é resultado de uma orientação impecável.

Aos colegas de curso Flavia Durañona, Gabriel Smaniotto, Maria Victoria Villalba, Renato Silva e Tamires Razente pela colaboração na etapa de tabulação de dados.

Aos meus amigos, companheiros e parceiros de graduação. Sabemos como foi difícil e quanto precisamos nos ajudar para superar as barreiras que vão aparecendo no dia a dia da faculdade e eu tive a sorte de encontrar pessoas incríveis, que sempre estiveram disponíveis quando precisei e agora posso retribuir com esse pequeno gesto. Rafael, Andrés, Romulo, Douglas, Giovani, Antonio, Diego, Gabi, Lucas, Marcela, Maiara, Andrey e Ignácio, cada um de vocês me marcou em alguma etapa da graduação e posso dizer que tem um pedacinho de vocês na minha conquista, meus mais sincero obrigada!

Aos meus amigos da vida que sempre estão prontos para me apoiar e incentivar.

A família Bateria Fúria Latina, que foi motivo dos melhores momentos da minha graduação e me proporcionou experiências únicas!

Aos meus supervisores de estágio, Carlos e Jonathan, por todo apoio, compreensão e incentivo para que eu pudesse finalizar este trabalho.

E por fim, mas não menos importante, agradeço a mim mesma, por ter sido forte, corajosa e persistente. Foi uma longa jornada, com muitos percalços e dificuldades, mas agora posso dizer que consegui e fui capaz de alcançar meus objetivos.

MAIA, O.V.T. **CIRCULARIDADE NO PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO: UM ESTUDO DE CASO.** 2023. 62 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2023.

## RESUMO

O setor da construção civil corresponde a uma cadeia produtiva dependente da extração de recursos minerais não renováveis como fontes de matéria-prima para a maior parte de seus materiais, sendo responsável por elevados volumes de resíduos sólidos. Os resíduos de construção e demolição (RCD), gerados na etapa de produção, reforma ou demolição das edificações, tendem a ser depositados em locais irregulares, acarretando impactos negativos ao ambiente e à saúde pública. Porém, esses resíduos possuem potencial de reciclabilidade e podem dar origem a agregados construtivos (AC), também conhecidos por agregados reciclados (AR), com aplicabilidade em diferentes etapas de uma construção, corroborando com a circularidade no setor. Neste sentido, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar o processo de produção de agregados construtivos de RCD em uma central de processamento, considerando a influência de fatores externos, tais como: clima, políticas públicas, mercado da construção civil na região e eventos adversos. Para isto, foi realizada a tabulação e análise de dados primários referentes a oito anos de operação da empresa parceira da pesquisa (de julho de 2015 a dezembro de 2022). Também foram conduzidas visitas técnicas e entrevistas com o diretor da central de beneficiamento. Constatou-se que 81% do RCD que chega à unidade industrial pertence à “classe A”, sendo processado para a conversão em agregado reciclado. Cerca de 51% das entregas necessitam de triagem e destas, 27% demanda triagem adicional devido a contaminantes nos resíduos, incidindo em custos extras ao gerador. Entre os fatores externos de maior influência no processo de reciclagem de RCD destaca-se a qualidade (ausência de contaminantes) do resíduo que chega na central de processamento, as legislações associadas ao setor e a dificuldade de comercialização do agregado produzido, especialmente quando contaminados. A pesquisa desenvolvida é um estudo de caso não podendo ser generalizada, contudo a metodologia e os resultados obtidos podem ser empregados como benchmarking para futuras pesquisas ou desenvolvimento de novos empreendimentos.

**Palavras-chave:** agregado reciclado, economia circular, gestão de resíduos, resíduos de construção, unidades de reciclagem.

MAIA, O.V.T. **CIRCULARIDAD EM EL PROCESAMIENTO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN: UM ESTUDIO DE CASO.** 2023. 62 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2023.

## RESUMEN

El sector de la construcción civil corresponde a una cadena productiva dependiente de la extracción de recursos minerales no renovables como fuente de materia prima para la mayoría de sus materiales, siendo responsable de altos volúmenes de residuos sólidos. Los residuos de construcción y demolición (RCD), generados en la etapa de producción, renovación o demolición de edificios, tienden a depositarse en lugares irregulares, provocando impactos negativos en el medio ambiente y la salud pública. Sin embargo, estos residuos tienen potencial de reciclabilidad y pueden dar lugar a áridos constructivos (AC), también conocidos como áridos reciclados (AR), con aplicabilidad en diferentes etapas de una construcción, corroborando con la circularidad del sector. En ese sentido, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el proceso de producción de agregados para la construcción de RCD en un centro de procesamiento, considerando la influencia de factores externos, tales como: clima, políticas públicas, mercado de la construcción civil en la región y eventos adversos. Para ello, se realizó la tabulación y análisis de datos primarios referentes a ocho años de funcionamiento de la empresa socia de investigación (de julio de 2015 a diciembre de 2022). También se realizaron visitas técnicas y entrevistas con el director del centro de procesamiento. Se encontró que el 81% del RCD que llega a la unidad industrial pertenece a la "clase A", siendo procesado para su conversión en agregado reciclado. Alrededor del 51 % de las entregas requieren clasificación y, de éstas, el 27 % requiere una clasificación adicional debido a los contaminantes en los desechos, lo que genera costos adicionales para el generador. Entre los factores externos con mayor influencia en el proceso de reciclaje de RDC, la calidad (ausencia de contaminantes) de los residuos que llegan al centro de procesamiento, la legislación asociada al sector y la dificultad de comercializar el árido producido, especialmente cuando está contaminado, destacar. La investigación realizada es un estudio de caso y no puede generalizarse, sin embargo la metodología y los resultados obtenidos pueden ser utilizados como benchmarking para futuras investigaciones o el desarrollo de nuevos emprendimientos.

**Palavras-chave:** agregado reciclado, economía circular, gestión de residuos, residuos de construcción, unidades de reciclaje.

MAIA, O.V.T. **CIRCULARITY IN THE PROCESSING OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE: A CASE STUDY.** 2023. 62 pages. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2023.

## ABSTRACT

The civil construction sector corresponds to a production chain dependent on the extraction of non-renewable mineral resources as raw material sources for most of its materials, being responsible for high volumes of solid waste. Construction and demolition waste (CDW), generated in the production, renovation or demolition stage of buildings, tends to be deposited in irregular places, causing negative impacts on the environment and public health. However, these residues have recyclability potential and can give rise to constructive aggregates (AC), also known as recycled aggregates (AR), with applicability in different stages of a construction, corroborating with the circularity in the sector. In this sense, the present work has the objective of evaluating the production process of construction aggregates of RCD in a processing center, considering the influence of external factors, such as: climate, public policies, civil construction market in the region and adverse events. For this, the tabulation and analysis of primary data referring to eight years of operation of the research partner company (from July 2015 to December 2022) was carried out. Technical visits and interviews with the director of the processing center were also conducted. It was found that 81% of the RCD that arrives at the industrial unit belongs to "class A", being processed for conversion into recycled aggregate. About 51% of deliveries require sorting and of these, 27% require additional sorting due to contaminants in the waste, incurring extra costs to the generator. Among the external factors with the greatest influence on the CDW recycling process, the quality (absence of contaminants) of the waste that arrives at the processing center, the legislation associated with the sector and the difficulty of marketing the aggregate produced, especially when contaminated, stand out. The research carried out is a case study and cannot be generalized, however the methodology and the results obtained can be used as a benchmarking for future research or the development of new ventures.

**Palavras-chave:** recycled aggregates, circular economy, waste management, construction waste, recycling unit.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
1.1 OBJETIVO GERAL .....	11
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
<b>2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO</b> .....	<b>12</b>
2.1 LEGISLAÇÃO.....	12
2.2 GERAÇÃO .....	15
2.3 ECONOMIA CIRCULAR.....	20
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>26</b>
3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS DE UM SISTEMA PRODUTIVO – ETAPA 1 .....	26
3.2 SURVEY COM GESTORES/PROPRIETÁRIOS DE CENTRAIS DE RECICLAGEM DE RCD – ETAPA 2 .....	28
<b>4 RESULTADOS</b> .....	<b>30</b>
4.1 EMPRESA EM ESTUDO.....	30
4.2 FLUXO DE MATÉRIA-PRIMA AO LONGO DO TEMPO .....	33
4.3 FATORES EXTERNOS QUE INFLUENCIAM NA CADEIA PRODUTIVA DOS AGREGADOS RECICLADOS DE RCD .....	36
4.4 RELAÇÃO ENTRE A QUANTIDADE DE MATÉRIA-PRIMA RECEBIDA E O TOTAL DE AR PRODUZIDO .....	40
4.4 SURVEY.....	41
4.4.1 DESCRIÇÃO DA AMOSTRA DE ESTUDO.....	41
4.4.2 DADOS DA EMPRESA .....	42
4.4.3 PRODUTIVIDADE .....	44
4.5 ANÁLISE GLOBAL .....	46
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>48</b>
5.1 CONCLUSÕES .....	48
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTUROS .....	49
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>50</b>
<b>APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO (SURVEY) ENVIADO PARA GESTORES/PROPRIETÁRIOS DE CENTRAIS DE RECICLAGEM DE RCD.</b> .....	<b>55</b>
<b>APÊNDICE B – TABULAÇÃO DAS RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO (SURVEY) ENVIADO PARA GESTORES/PROPRIETÁRIOS DE CENTRAIS DE RECICLAGEM DE RCD.....</b>	<b>57</b>
<b>APÊNDICE C – FLUXO ANUAL DE MATÉRIA-PRIMA EM OITO ANOS DE PRODUÇÃO FABRIL.</b> .....	<b>61</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil é considerada uma das principais geradoras de resíduos sólidos no mundo. Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), estima-se que em 2021 foram coletadas mais de 48 milhões de toneladas de RCD, o que equivale a 227 kg/hab/ano e cerca de 60% dos resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados no Brasil (ABRELPE, 2022). Ao mesmo tempo que gera grande volume de resíduo sólido, o setor da construção depende da extração de matéria-prima natural para seus processos produtivos. De acordo com a ANEPAC, em 2014 o consumo brasileiro de agregado alcançou 741 milhões de toneladas de agregado (brita e areia), o que corresponde a 3.700 kg/habitante/ano.

Devido à crescente preocupação com os impactos ambientais associados à disposição de resíduos e a extração de matéria-prima de fontes não renováveis, a engenharia civil deve contribuir para um ambiente mais saudável e equilibrado (KAVA, 2011). Uma das ações do setor que vem sendo aplicada é a reciclagem de RCD para produção de agregado reciclado (AR<sup>1</sup>). Entende-se que o agregado obtido por meio da reciclagem de RCD é um produto com propriedades distintas do agregado natural, podendo ser aplicado com sucesso em diferentes produtos e processos, desde que respeitadas suas propriedades.

Os resíduos de construção e demolição podem ser beneficiados e transformados em agregados construtivos com granulometria variada (como areia, pedrisco e brita). O processamento se dá em centrais de reciclagem, as quais recebem o RCD gerado em diferentes etapas da construção (demolição, reparos, reformas, entre outros), que por sua vez entram como matéria-prima no processo de produção de agregados construtivos.

Em geral se executam as seguintes etapas: catação manual para retirada de resíduos contaminantes que estão visíveis no RCD, britagem/rebritagem para atingir diferentes granulometrias, peneiramento e comercialização do produto final (AR - agregados reciclados de RCD ou AC - agregados construtivos). Outra

---

<sup>1</sup> A fim de agregar mais valor ao produto, visto que o termo “reciclado” é comumente associado a produtos de má qualidade/inferioridade, outra denominação possível para estes produtos seria Agregado Construtivo (AC). Porém, como o termo Agregado Reciclado (AR) já é difundido na literatura, este será adotado neste estudo.

solução possível para o processamento de RCD é a britagem do resíduo no próprio canteiro de obra, utilizando equipamentos móveis.

Após o processamento do RCD, os agregados fabricados podem ser destinados novamente à cadeia produtiva da construção civil, caracterizando uma economia circular (EC), onde o mesmo material permanece no início, meio e fim de um processo, por repetidas vezes (ciclo fechado). A reciclagem de RCD também é constante com as legislações brasileiras, em especial a Resolução CONAMA Nº 307 (BRASIL, 2002) e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) - Lei 12305 (BRASIL, 2010), sendo fundamental para a sustentabilidade.

Neste contexto, o Roadmap Global para a construção sustentável da EIA (2019) recomenda que para se alcançar as metas de redução de emissões das edificações, o setor de materiais de construção deve, entre outras ações, promover a reciclagem de materiais e desenvolver uma economia circular. Para isso, deve apoiar o desenvolvimento de processos de reciclagem, a fim de reduzir as emissões e a energia incorporada no ciclo de vida, com abordagem do berço ao berço (circularidade), ou do berço ao túmulo, visando materiais-neutros em carbono, baseados no desempenho.

Atualmente, o modelo de economia linear ainda é predominante na sociedade e nos meios de produção. Descrita pela expressão “do berço ao túmulo”, devido as suas etapas características: extração de recursos/matéria-prima (berço), beneficiamento, uso e descarte (túmulo), ou seja, ao final do ciclo de vida do produto, o mesmo é descartado. Já na economia circular, tem-se o chamado “Grade to grade” (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2002), do português “do berço ao berço”, o qual defende que o produto e conseqüentemente seus resíduos sejam desenvolvidos pensando em possíveis reutilizações.

Trata-se de um processo cíclico, onde o produto no fim de sua vida útil também é um banco de material e ao invés de se tornar resíduo, pode ser utilizado como matéria-prima em outros processos. Isto permite que os recursos sejam reaplicados de forma indefinida em fluxos produtivos, sendo desejável que a aplicação seja segura, tanto ao meio ambiente quanto aos consumidores (EMF<sup>2</sup>).

O setor da construção civil está majoritariamente vinculado a modelos de negócio lineares, sendo a transição para economia circular desejável e necessária,

---

<sup>2</sup> Ellen MacArthur Foundation - <https://ellenmacarthurfoundation.org>

visando alcançar o desenvolvimento sustentável, para desenvolvimento da qualidade ambiental, prosperidade econômica e equidade social em benefício das gerações atuais e futuras (Hekkert et. al, 2017).

O ganho em competitividade com a EC, permitirá acesso a novos nichos e atrairá novas fontes de captura de receita através da geração de valor com atitudes relacionadas ao aproveitamento dos materiais, redução do desperdício, maior efetividade nos sistemas de produção, além da possibilidade de usar um produto como serviço, mantendo valores (CNI, 2018) e atraindo investidores que valorizam empreendimento alinhados aos pilares dos índices ESG (do inglês Environmental, Social and Governance).

Uma abordagem circular pode ajudar na redução da pegada ambiental de um setor, evitando o aumento de custos, atrasos e outras consequências referentes a volatilidade do mercado e commodities (ARUP, 2016).

Trata-se de um modelo onde todos os tipos de materiais são elaborados para circular de forma eficiente e realocados na produção, sem perder a qualidade, seja em ciclos biológicos (desenhados para reinserção na natureza) ou ciclos técnicos (que demandam de inovação tecnológica para serem desmontados e recuperados (AZEVEDO, 2015).

A EC pode gerar novas oportunidades de negócio, melhoria de vida, criação de novos empregos (KALMYKOVA et al, 2018), reduzir a dependência de importações e aumentar a segurança dos recursos (STAHEL, 2016). Além disso, a transição para a economia circular faz com que o setor industrial brasileiro esteja avançando em relação a legislações e normas nacionais, contribuindo para a construção de políticas públicas facilitadoras, atendendo a Política Nacional de Resíduos Sólidos e aos acordos setoriais de diversas cadeias de valor (CNI, 2018).

Ademais, a EC na cadeia de reciclagem do RCD também é uma alternativa para mitigar os impactos negativos causados pelos resíduos à saúde e ao meio ambiente, em alinhamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 11 e 12), propostos pela ONU.

Porém, para a implementação da EC na reciclagem de resíduos de construção e demolição é necessário conhecer a cadeia de suprimentos e os processos produtivos associados, sendo este o objetivo deste trabalho. Para tal, será conduzido um estudo de caso em uma central de reciclagem de RCD localizada na cidade de Cascavel, Paraná, por meio da análise de dados de seis anos de produção

fábrica, correlacionados com eventos locais, políticas públicas, estratégias gerenciais e comerciais.

O presente trabalho limita-se ao estudo do processo produtivo de uma central referência em beneficiamento de resíduos de construção e demolição para a produção de agregados reciclados (AR), situada no oeste do Paraná, no contexto da economia circular. Por se tratar de um estudo de caso, os resultados e conclusões obtidos não podem ser generalizados ou ditos semelhantes à realidade de outras empresas localizadas tanto no estado quanto no país. Contudo, podem servir de referência (benchmarking) e base de dados para futuras pesquisas ou desenvolvimento de novos empreendimentos do ramo.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa visa avaliar os preceitos da economia circular no processo de produção de agregados reciclados de RCD em uma central de beneficiamento, considerando a influência de fatores externos, tais como: clima, políticas públicas, mercado da construção civil na região e eventos adversos (como a COVID 19, por exemplo).

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analisar quantitativamente e qualitativamente o fluxo de matéria-prima ao longo do tempo, por meio de dados tabelados do processo fabril;
- b) Analisar a influência dos fatores externos na cadeia produtiva dos agregados reciclados de RCD;
- c) Estimar a quantidade de matéria-prima recebida que é convertida em produtos (fator de conversão).

## 2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

### 2.1 LEGISLAÇÃO

Diante da necessidade de normatização para a gestão de resíduos de construção civil (RCC) ou resíduos de construção e demolição (RCD) e sua fiscalização, tanto no âmbito nacional quanto em esfera municipal, a Resolução CONAMA Nº 307 (BRASIL, 2002) estabelece diretrizes, critérios e procedimentos, com o intuito de diminuir os impactos ambientais através de ações disciplinadas e tem como objetivo principal a não geração, seguido por redução, reutilização, reciclagem e disposição final ambientalmente adequada para tais resíduos.

Conforme descrito no Art. 2º desta resolução, os resíduos de construção e demolição podem ser definidos como:

[...] provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc, comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha” (BRASIL, 2002).

De acordo com o CONAMA, os resíduos de construção e demolição também devem ser classificados conforme seu potencial de reciclabilidade e são separados em quatro classes distintas. Na “Classe A”, resíduos de componentes cerâmicos (tijolos, tijolos, telhas, blocos cerâmicos, revestimentos etc.), argamassa e concreto são considerados reutilizáveis ou recicláveis como agregados. Resíduos recicláveis para outras destinações pertencem a “Classe B”. Já na “Classe C”, encontram-se resíduos que são economicamente inviáveis de se reciclar ou recuperar. E por fim, na “Classe D”, estão os resíduos perigosos, passíveis de contaminação durante o processo de construção (BRASIL, 2002).

A Resolução CONAMA Nº 307 (BRASIL, 2002) já passou por quatro alterações até o momento, com o intuito de complementar o texto original, acompanhar as novas tecnologias e as discussões necessárias à adequação das regulamentações nacionais (MATIAS, 2020). Em 2004 ocorreu a primeira alteração, através da Resolução CONAMA Nº 348 (BRASIL, 2004) que inclui o amianto na classe dos resíduos perigosos (“classe D”). A seguinte alteração ocorre no ano de 2011 e

estabelece nova classificação para o gesso, que deixa de ocupar a “classe c” e passa a integrar os resíduos de “classe B” de acordo com a Resolução CONAMA Nº 431 (BRASIL, 2011). A terceira alteração, dada pela Resolução CONAMA Nº 448 (BRASIL, 2012) altera os artigos 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11. Por fim, a última alteração foi instituída pela Resolução CONAMA Nº 469 (BRASIL, 2015) e estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos de construção e demolição.

Quando não houver a possibilidade de reutilização ou reciclagem dos resíduos, a disposição final de qualquer uma das classes de RCD não poderá ser feita em aterros de resíduos sólidos urbanos ou áreas protegidas por lei e é de responsabilidade de todos os geradores, seja ele pequeno ou grande. Para a implementação da gestão correta destes resíduos, existe o Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), o qual deve ser elaborado por cada município, em consonância com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos e com o artigo 14 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 (BRASIL, 2012).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é amparada pela Lei nº 12.305 e dispõe de princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes ligadas à gestão integrada e gerenciamento de resíduos sólidos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. (BRASIL, 2010). Para efeito desta lei, os resíduos de construção e demolição são resíduos sólidos originados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis. (BRASIL, 2010).

Com a aprovação da PNRS, é apresentado ao cenário nacional uma nova perspectiva, visto que a lei regulamenta a gestão adequada dos resíduos, incluindo questões para o desenvolvimento econômico e social, bem como para a manutenção da qualidade ambiental (IPEA, 2012).

Além da legislação existente em nível federal, estadual e municipal, os resíduos de construção e demolição também estão sujeitos a normativas técnicas brasileiras. Em 2004, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou cinco normas brasileiras (NBR) relativas ao gerenciamento de RCD, todas em consonância com as predeterminações contidas na Resolução CONAMA Nº 307 (BRASIL, 2002). Recentemente estas normas foram atualizadas conforme indicado na Tabela 1.

Tabela 1 - Normas técnicas brasileiras referentes aos resíduos de construção e demolição.

ABNT	Descrição	Publicação	Atualização
NBR 15.112	Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos - Áreas de Transbordo e Triagem - Diretrizes para Projeto, Implantação e Operação.	2004	
NBR 15.113	Resíduos Sólidos da Construção Civil e Resíduos Inertes - Aterros - Diretrizes para Projeto, Implantação e Operação.	2004	
NBR 15.114	Resíduos Sólidos da Construção Civil - Áreas de Reciclagem - Diretrizes para Projeto, Implantação e Operação.	2004	
NBR 15.115	Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil - Execução de Camadas de Pavimentação - Procedimentos.	2004	
NBR 15.116/2021	Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil - Utilização em Pavimentação e Preparo de Concreto sem Função Estrutural - Requisitos.	2004	2021

Fonte: Maia, 2023.

As políticas públicas podem atuar como fator integrante entre sociedade, governo, academia e mercado para propiciar uma estrutura legal, social e econômica para a adoção de modelos circulares (OMETTO et al, 2021), no âmbito da construção civil e dos resíduos gerados.

Outro fator importante e que deve ser reconfigurado, foi observado por Borges et al (2020) e diz respeito à abordagem das políticas implementadas. As mesmas visam tratar ou interpelar a eficiência do uso do resíduo ao invés de mencionar formas para reduzi-lo. Essa ideia é compartilhada por Huang et al (2018) após revisar as políticas de gerenciamento de RCD na China.

Matias (2020) constatou que apenas 59% do cenário nacional possui os planos de resíduos sólidos exigidos pela PNRS e que é necessário desenvolver políticas públicas que concedam benefícios ou recompensas as partes interessadas a adequada gestão e também, utilização de produtos com agregados reciclados de RCD, além de estabelecer limites para a quantidade de resíduos descartada.

Ademais, as políticas públicas são instrumento impulsionador para fomento, financiamento e participação popular, sendo de suma importância para que as mudanças sejam efetivas e possíveis (OMETTO et al, 2021).

## 2.2 GERAÇÃO

As características do RCD dependem basicamente do processo construtivo que deu origem a eles e dos materiais que os constituem (NAGALI, 2014). De acordo com a *Construction and Demolition Recycling Association* (CDRA), o fluxo de construção e demolição é constituído por uma gama de materiais, incluindo os utilizados na construção de estradas, pontes e edifícios, os quais geram resíduos de concreto, madeira, asfalto, gesso, telhas, metais, plástico, papelão e afins.

Os resíduos de construção e demolição são gerados em todas as etapas do ciclo de vida das habitações e obras de infraestrutura (ABRECON, 2020). Para a Resolução CONAMA Nº 307, o RCD provém de construções, reformas, reparos e demolições, incluindo os resultantes de atividades de escavação (BRASIL, 2002). Trata-se de um grande desafio para o setor da construção, devido à crescente geração de resíduos ao redor do mundo, associados aos seus impactos ambientais causados por suas atividades (GINGA, 2020).

A crescente participação dos RCD no total de resíduos sólidos gerados vem sendo alvo de preocupação e discussões, superando em alguns casos até mesmo a geração de resíduos sólidos urbanos - RSU (MATIAS, 2020). Tem sido rotineiro considerar a quantidade de RCD gerado como um indicador comparativo de desempenho da gestão de resíduos em diferentes países (VILLORIA e OSMANI, 2019).

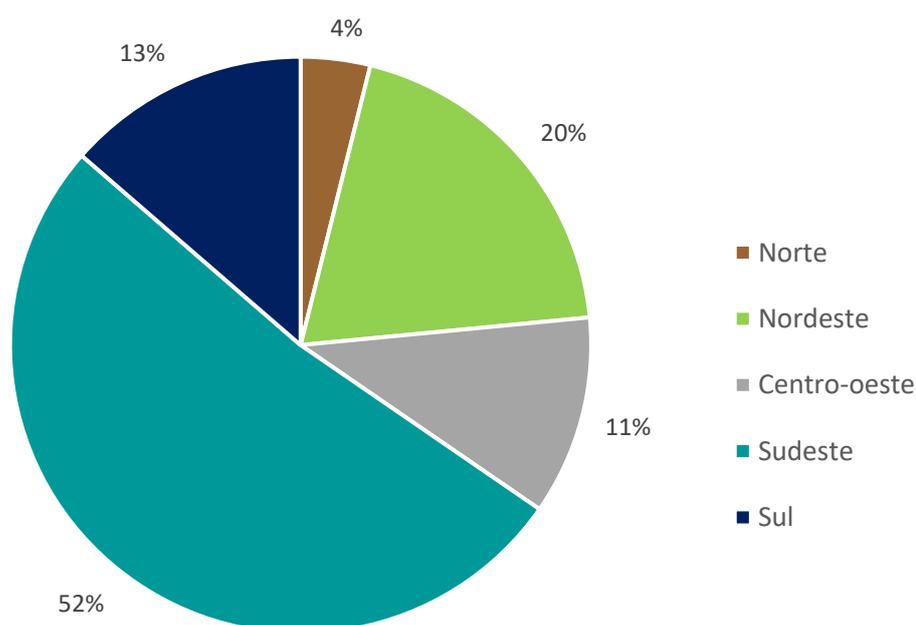
Na União Europeia cerca de 36% dos resíduos sólidos gerados são resultantes da construção civil. Nos Estados Unidos esse valor aumenta para 67% (RUIZ et al, 2020), enquanto na China, o valor é da ordem de 30 a 40% do total de resíduos urbanos (HUANG et al, 2018).

No Brasil ainda não existem dados oficiais a respeito da geração de RCD (MATIAS, 2020). Um estudo de levantamento de dados indicou que no Brasil o RCD correspondia a 51% do volume total de resíduos sólidos à época (SHONS et al. 2013).

Durante o ano de 2021, a geração de RSU no Brasil alcançou aproximadamente 81,8 milhões de toneladas, correspondendo a 224 mil toneladas diárias e 381 kg/hab/ano e deste montante, cerca de 60% (mais de 48 milhões de toneladas) são resíduos de construção e demolição (ABRELPE, 2022).

Os dois extremos referentes à coleta de RCD no país são representados pela região Sudeste (máximo) e Norte (mínimo), conforme Figura 1. As pesquisas setoriais são relacionadas a coleta desempenhada sob a gestão municipal, que em sua maioria, coletam apenas o disposto em vias públicas e enfatizam que estas frações são de responsabilidade do gerador (PAZ, 2020).

Figura 1 – Coleta de RCD nas regiões do Brasil em 2021.

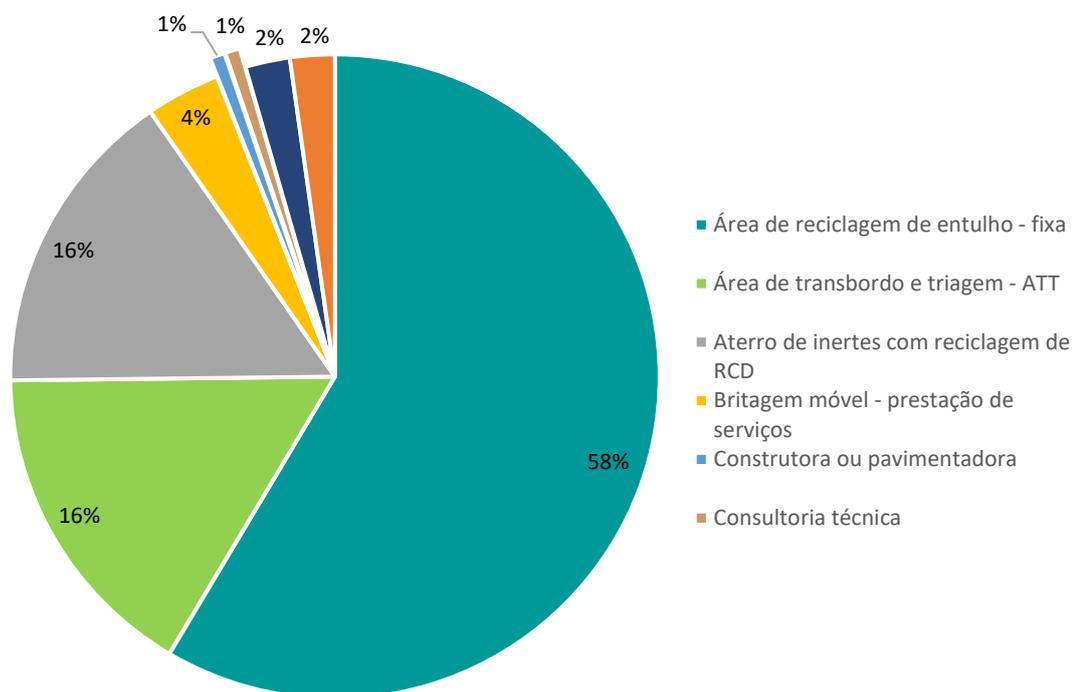


Fonte: Adaptada de ABRELPE, 2022.

A Pesquisa Setorial desenvolvida pela ABRECON (2022) indica que em 2021 foi alcançado um índice de reciclagem nacional (volume de agregado reciclado dividido pelo volume de RCD gerado) na ordem de 31%, com a produção efetiva de agregados reciclados inferior à capacidade produtiva máxima das usinas.

As pesquisas e panoramas setoriais não indicam o destino final do RCD, porém um levantamento realizado pela associação com 135 respondentes (destinatários) identificou que 58% do RCD é enviado para área de reciclagem de entulho fixa, o restante é distribuído em diferentes áreas, como representado na Figura 2.

Figura 2 – Tipos de destinação adotadas para os resíduos de construção e demolição em 2019.

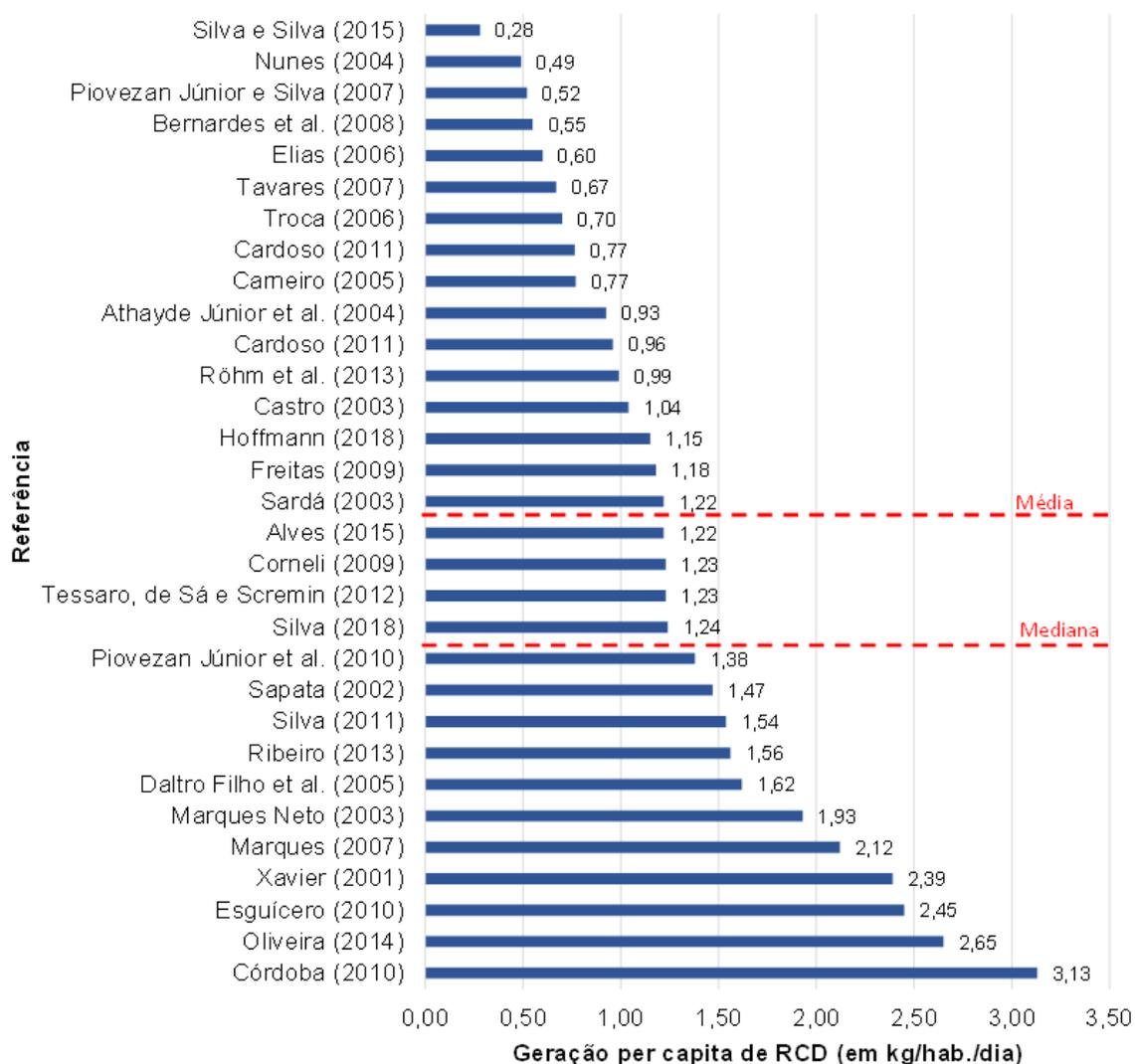


Fonte: Angulo, 2023.

Os principais estudos da literatura vinculam a geração de RCD ao número de habitantes (população) e ao PIB (Produto Interno Bruto). Segundo Villoria e Osmani (2019), a maior geração de RCD é proporcional a países com maior PIB e densidade populacional, além de estar vinculada ao volume de negócios de construção na região.

Conforme análise, no caso do Brasil, Matias (2020) fez um levantamento de dados com base em estudos da literatura e constatou, conforme Figura 3, que a média de geração per capita diária no país é da ordem de 1,22 Kg de RCD.

Figura 3 - Distribuição das estimativas referentes a geração per capita de RCD em alguns municípios brasileiros.



Fonte: Matias, 2020.

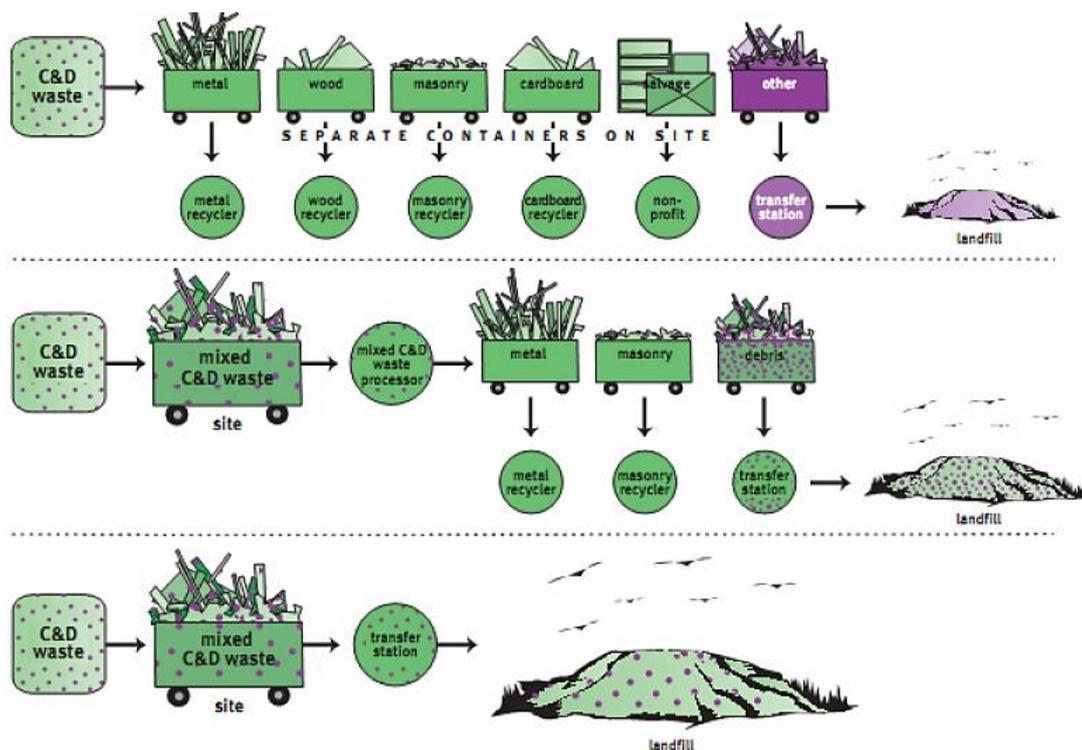
Observam-se amplas variações nos dados da literatura compilados por Matias (2020), que podem estar relacionados à metodologia empregada no estudo, ao momento econômico do país no período de coleta de dados, às características do local (cidade/estado/região) de estudo, entre outros. Essa variabilidade pode gerar incertezas que interferem no processo de reciclagem do RCD, uma vez que afetam a disponibilidade de matéria-prima para o processamento.

Conforme legislações vigentes no Brasil, o RCD “Classe A” pode ser reciclado para produção de agregados reciclados para diferentes aplicações conforme normativas indicadas na Tabela 1. Porém a classificação do resíduo no local de

produção afeta a possibilidade de sua reutilização ou reciclagem (KLEN, 2013) (figura 04).

A separação ainda no canteiro de obras implica na qualidade e no valor final do agregado reciclado, sendo importante no processo de reciclagem do RCD. Os resíduos passíveis de beneficiamento estão incluídos na “Classe A” da Resolução CONAMA N° 307 (BRASIL, 2002), quando combinado as demais classes, necessita de mais etapas de produção, diminuindo a qualidade do produto, visto que o processo de triagem não garante a total descontaminação do RCD e aumenta o valor final de mercado do agregado reciclado. A Figura 4 demonstra a importância da segregação do RCD no local de geração (canteiro de obras) e os impactos associados à disposição final.

Figura 4 - Três principais vias para armazenagem do resíduo de construção e demolição no canteiro de obras e efeitos na destinação final.



Fonte: Klen, 2013.

A segregação dos resíduos ainda no canteiro de obras não é uma prática difundida no Brasil, acarretando descartes incorretos e impactando no seu reaproveitamento (SIMONI, 2016). No entanto, observa-se que quando o RCD é separado in loco, não é abrangido em sua totalidade e isso pode ter relação com a

falta de treinamento da mão-de-obra disponível (SCHUSTER B.S; JUNIOR, L.R.T., 2020). Os autores ainda pontuam que o treinamento da equipe acerca das atividades realizadas no canteiro influencia no volume de RCD gerado, devendo se tornar uma prática frequente.

Como forma de reduzir o impacto do RCD no meio ambiente, algumas ações vêm sendo implementadas, em particular no que diz respeito aos canteiros de obra, em relação a coleta segregada dos resíduos gerados, visando a reciclagem ou reuso (SOUZA et al, 2004), as ações cada vez mais importante no contexto da economia circular.

### 2.3 ECONOMIA CIRCULAR

O modelo de economia circular (EC) tem suas raízes em conceitos que permeiam a década de 1970 (ARUP, 2016). Sua origem não pode ser ligada a uma única data ou autor e suas aplicações práticas ganharam uma nova dinâmica no fim dos anos 70, lideradas por um pequeno grupo formado por acadêmicos, líderes intelectuais e empresas (EMF, s/d).

A ideia de uma economia com sistema fechado, com foco no aumento da eficiência dos recursos e menores impactos ao ecossistema, como mostra a Figura 5, já vinha sendo desenvolvida e apresentada aos meios interessados, quando em 1990 a economia circular teve seu primeiro uso formal como conceito, na obra “Economics of Natural Resources and the Environment”, dos autores David W. Pearce e R. Kerry Turner (BARBOZA et. al, 2019).

Em 2010, foi criada a Ellen MacArthur Foundation, com intuito de integrar empresas, governo e instituições acadêmicas, além de ser uma plataforma amplificadora dos conceitos relacionados a EC. De acordo com Azevedo (2015), o assunto emergiu mundialmente em 2012, quando a fundação publicou o primeiro de uma série de relatórios, intitulados “Em direção a uma Economia Circular”.

A definição mais recente para EC foi desenvolvida também pela fundação Ellen MacArthur, que diz:

[...] uma economia que é restaurativa e regenerativa por princípio e tem como objetivo manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor o tempo todo, fazendo distinção entre ciclos técnicos e biológicos. A economia circular é concebida como um ciclo contínuo de desenvolvimento positivo que preserva e aprimora o capital natural, otimiza a

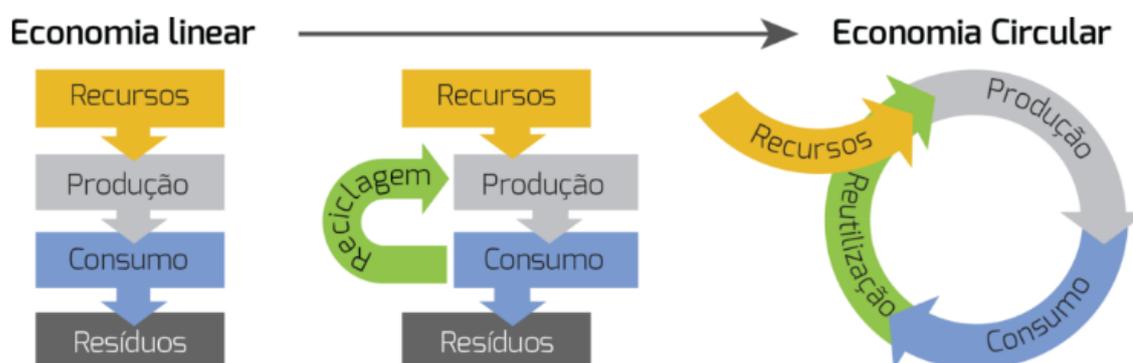
produtividade de recursos e minimiza riscos sistêmicos gerindo estoques finitos e fluxos renováveis.” (EMF)

Os autores William McDonough e Michael Braungart (2002), defendem a metodologia “berço ao berço” (*Cradle to Cradle*) como ferramenta para a construção de uma economia circular e um manifesto frente a ideia de considerar a vida de um produto “do berço ao túmulo” (*Cradle to grave*), a qual caracteriza um processo linear.

A ideia central é que os recursos sejam geridos de forma que cada passagem de ciclo se torne um novo berço para determinado produto, assim, o atual modelo econômico linear é substituído por sistemas cíclicos, os recursos são utilizados indefinidamente e circulam em fluxos seguros e saudáveis, tanto para os humanos quanto para a natureza. (GEJER; TENNENBAUM, c2023).

O sistema circular também é conhecido como uma economia restaurativa e que contrapõe o atual modelo econômico linear, caracterizado por extrair recursos naturais, transformar e descartar (AZEVEDO, 2015), como mostra o ciclo representado na Figura 5.

Figura 5 – Comparação entre os sistemas econômicos linear e circular.



Fonte: Circular Economy Portugal.

De acordo com a Fundação Ellen MacArthur, os princípios da economia circular revelam características desafiadoras. Os intervenientes devem se preocupar com a criação de modelos de negócio que desenvolvem produtos manufaturados com múltiplas utilidades e com valor agregado, coordenar os atores entre as cadeias de suprimentos para criar escalas e identificar usos de maior valor, além de aplicar uma logística reversa que mantenha a qualidade e o custo de forma

equilibrada.

No Brasil, o princípio de logística reversa é definido pela Lei nº 12.305 (PNRS), como um “instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de 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” (BRASIL, 2010, p. 2). Trata-se de um mecanismo importante na economia circular para conexão entre mercado, consumidor e poder público (AZEVEDO, 2015).

A economia circular pode ser descrita como um sistema econômico baseado em modelos de negócios que substituem o conceito de “fim de vida” através da política dos 4R’s (reduzir, reutilizar, reciclar e recuperar), atuando em níveis micro (produtos, empresas e consumidores), meso (parques eco-industriais) e macro (cidade, região e nação) (HEKKERT et al., 2017). Estruturalmente, é uma busca por soluções efetivas e não somente eficientes (FATH et al, 2019), já que a eficácia está relacionada ao propósito de um sistema e inclui desde sua periferia até o núcleo (WEBSTER, 2021).

Existem três estratégias importantes para uma estrutura eficaz na economia circular, de acordo com Baldassarre et. al (2019) são as seguintes:

1. Estreitar os ciclos de recursos: utilizar cada vez menos materiais virgens e diminuir desperdícios no fim da vida útil;
2. Ciclos de desaceleração: prolongar a fase de uso dos materiais;
3. Fechar ciclos de recursos: adotar ou incentivar a reciclagem de materiais.

Com base em pesquisas e referenciais teóricos, os autores Geissdoerfer, Savaget, Bocken e Hultink (2017) definiram a economia circular como um sistema regenerativo, onde a entrada de material, o desperdício de recursos, emissão e vazamento de energia são minimizados pela desaceleração, fechamento de ciclos e estreitamento entre material e energia, aplicando design duradouro, manutenção, reparo, reutilização, remanufatura, reforma e reciclagem.

Pode-se dizer que um sistema circular é dividido em dois grupos de materiais: os biológicos e os técnicos (AZEVEDO, 2015). No ciclo biológico, os recursos são utilizados, regenerados e devolvidos com segurança à biosfera. Enquanto dentro do ciclo técnico, os produtos são desenvolvidos para que ao fim de

sua vida útil seus componentes sejam extraídos e reutilizados ou remanufaturados, criando um ciclo fechado e evitando a produção de resíduos (ARUP, 2016).

No contexto da EC, surge um modelo de negócio com objetivos que vão ao encontro do modelo circular, a simbiose industrial (SI). A origem desta nomenclatura se dá na ecologia, utilizada para descrever a associação benéfica e recíproca entre seres vivos de espécies diferentes (TAVARES et al, 2018).

Essa analogia foi transportada para o ambiente industrial e segundo Chertow (2000), representa uma abordagem coletiva para vantagens competitivas que envolvem troca de materiais, energia, água e subprodutos, não se limitando a parques industriais e que valoriza resíduos e rejeitos para minimizar a utilização de recursos naturais nas etapas de produção (BRITO et al, 2019). Ou seja, o objetivo da simbiose industrial é produzir em maior escala sem gastar mais energia e recursos por meio da cooperação, utilizando resíduos ou subprodutos de outras empresas (NEVES et al, 2019).

A conceituação da EC teve sua origem, quase que exclusivamente, desenvolvida por profissionais da esfera política, corporativa e através de fundações, contextualizada pelo aumento de preço dos recursos e mudanças climáticas (WOBETO, 2020). No setor da construção, a aplicação da economia circular propõe uma configuração que pode diminuir o potencial degradador das atividades envolvidas na área (ALVES et al, 2020).

O desperdício gerado nos ambientes construtivos frente à economia linear representa perdas significativas de materiais, metais e minerais que poderiam ser remanufaturados, de acordo com os princípios da EC. Desde o período pós Segunda Guerra Mundial, é predominante o modelo linear nas construções de infraestrutura, onde pode-se observar (EMF):

- uso intensivo de recursos: representando mais de um terço do consumo global;
- emissão de carbono: é de responsabilidade do setor cerca de 37% das emissões de dióxido de carbono processuais relacionadas a energia em 2021;
- altos níveis de desperdício.

De acordo com a análise de produções científicas internacionais, Borges et al. (2020), destacam que a preocupação com a aplicação dos princípios da EC na construção civil é emergente, visto que o primeiro trabalho acerca do tema

surgiu em 2006 e somente a partir de 2016, percebe-se uma evolução no número de publicações sobre a temática ao redor do mundo (BARBOZA, 2019).

No Brasil, a construção civil cresceu 9,7% em 2021, de acordo com os dados do Produto Interno Bruto (PIB), divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e gerou mais de 244.000 novas vagas de trabalho com carteira assinada (CBIC, 2022) que afetam não somente a indústria, mas também os diversos setores de apoio (LIMA et al., 2021).

O peso econômico do setor da construção não é independente de sua pegada ecológica. Em termos globais, as obras consomem anualmente 75% dos recursos naturais extraídos, 40% de energia, 16% de água (CCDR LVT, 2019) e cerca de 3 bilhões de toneladas de matéria-prima na produção de materiais de construção (WEF, 2016).

A proposta de enfatizar a circulação sob a extração cria uma economia que pretende remover ou pelo menos amortecer o elemento extrativo (WEBSTER, 2021). Neste contexto, a demanda por agregados naturais pode ser parcialmente suprimida utilizando agregados reciclados (ARs) derivados da construção e resíduos de demolição (PAZ et al, 2023).

Segundo GINGA et al (2020) o uso de agregados reciclados do ponto de vista da EC tem sido comum, visto que são materiais versáteis e com aplicações bem-sucedidas, aumentando a conscientização sobre a necessidade da transição para um modelo circular dentro da indústria da construção. Silva e De Brito (2017) ainda destacam que a falta de conhecimento da composição e características do RCD acarreta o descarte relevante de materiais potencialmente recicláveis e que poderiam ser uma alternativa equivalente aos seus recursos naturais.

A reutilização dos resíduos de construção e demolição implica na prática de usar materiais de construções que ainda são aplicáveis, seja para sua finalidade original (reutilização convencional) ou para atender a uma finalidade diferente, caracterizando o reaproveitamento (HUANG et al, 2018).

O processo de reciclagem dos resíduos “classe A” e a transformação em agregado reciclado pode ocorrer em usinas de reciclagem ou até mesmo nos canteiros de obra, com auxílio de equipamentos específicos e assim, ao invés de serem descartados, transformam-se em matéria-prima para um modelo de cadeia circular (SOUZA et al, 2020).

Com o objetivo de determinar como a economia circular pode contribuir para a redução de importação de matéria-prima mineral para o setor da construção, Lederer et al. (2020) desenvolveram uma análise de fluxo de material para a cidade de Viena, capital austríaca e chegaram a conclusão de que ao reutilizar/reciclar tais materiais, a necessidade de importação é reduzida em até 32%. No Brasil, a capacidade máxima de processamento e produção das usinas atinge cerca de 45% de todo RCD gerado no Brasil, porém as condições de operação foram suficientes para obter índices de reciclagem nacionais na ordem de 15% (ABRECON, 2020).

Na China, considerada pioneira em políticas de Economia Circular, com foco no enfrentamento à poluição (EMF, s/d), a taxa de reciclagem e reutilização de RCD é inferior a 5% (HUANG et al, 2018). Os autores ainda pontuam que a reconstrução acelerada de cidades antigas nos últimos 10 anos, contribuiu para o rápido aumento de RCD no país e parte dos resíduos produzidos foram transferidos para áreas rurais, caracterizando despejos ilegais e ocasionando o chamado “RCD circundante/ao redor” (*construction and demolition waste surround*), fazendo referência ao acúmulo destes materiais em regiões mais afastadas no país.

Para Lacovidou e Purnell (2017), existem intervenções para promover a reutilização dentro do setor da construção, como a aplicação da reutilização adaptativa, desconstrução ou projeto de reutilização. A primeira opção, refere-se ao método que utiliza toda ou somente parte de uma estrutura. Já a desconstrução, defende o desmonte cauteloso para maximizar a recuperação dos componentes de uma construção. Por fim, o projeto para reutilização busca incorporar o uso de componentes recuperados no projeto de novas estruturas.

A economia circular não se limita apenas a abordagem para gerenciamento de resíduos, ela promove a interação entre processos, meio ambiente e a economia na qual está inserida, de modo que não se trata apenas de recuperação material ou energética e sim de uma melhoria de todo modelo de vida e economia (BORGES et al, 2020). A circularização do setor depende de um trabalho conjunto de todos os *stakeholders* envolvidos (CCDR LVT, 2019) desenvolvendo estudos de diferentes ferramentas como passaporte de materiais, design de construções reversíveis e novos modelos de gestão e tomadas de decisão (BAMB, c2020).

### 3 METODOLOGIA

A pesquisa desenvolvida para este trabalho tem o objetivo de avaliar a circularidade no processo de produção de agregados construtivos de RCD em uma central de processamento, considerando a influência de fatores externos, tais como: clima, políticas públicas, mercado da construção civil na região e eventos adversos.

O estudo é de caráter quali e quantitativo e foi segmentado em 2 etapas. De início, para desenvolvimento das análises gerais, foi realizado o levantamento de dados, em uma unidade fabril localizada na cidade de Cascavel, oeste do Paraná, juntamente com a utilização de dados secundários resultante de pesquisas realizadas por Paz (2020). Em seguida, conduziu-se uma survey junto a outras empresas beneficiadoras de RCD instaladas em diferentes regiões do país para que pudesse comparar os resultados obtidos com a realidade de outras indústrias do ramo.

#### 3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS DE UM SISTEMA PRODUTIVO – ETAPA 1

Nesta etapa, realizou-se o levantamento, tabulação e análise de dados primários referentes a oito anos de operação de uma unidade recicladora de RCD (de julho de 2015 a dezembro de 2022), localizada na cidade de Cascavel, oeste do Paraná. Também foram conduzidas visitas técnicas e entrevistas com o diretor proprietário da empresa.

Os dados primários coletados para o estudo em questão foram:

- Entrada de matéria-prima (RCD);
- Classificação dos rejeitos;
- Custos (destinação, triagem e total);
- Quantidade de resíduo não pertencente a “Classe A” (sem possibilidade de reciclagem na unidade de estudo).

Todos os dados primários obtidos a partir do levantamento de oito anos de produção fabril, foram tabulados utilizando a ferramenta Excel (Figura 6). A partir deles foram produzidos os gráficos e calculas as médias, medianas e desvio padrão relacionados ao processo produtivo em estudo. O material gerado serviu como

base para reuniões com o diretor da empresa e discussões de pontos importantes para formulação mais detalhada e entendimento dos resultados obtidos.

Figura 6 – Planilha do Excel utilizada para tabulação dos dados.

Entregas	Data/mês	Empresa Transportadora	Volume (m³)	Rejeito										Custos (R\$)			Observação (anotar se for gesso, amianto, etc. Nome de pessoas não é necessário)	Quantidade "não classe A"	
				Concreto	Argmassa	Cerâmica	Tijolo	Plástico	Metal	Papel	Galho	Terra	Madeira	outros	De destinação (valor de R\$ 25,00 por m³)	Triagem (Valor adicional, varia conforme a contaminação)			Total
1																0,00	0,00	0,00	0,00
2																0,00	0,00	0,00	0,00
3																0,00	0,00	0,00	0,00
4																0,00	0,00	0,00	0,00
5																0,00	0,00	0,00	0,00
6																0,00	0,00	0,00	0,00
7																0,00	0,00	0,00	0,00
8																0,00	0,00	0,00	0,00
9																0,00	0,00	0,00	0,00
10																0,00	0,00	0,00	0,00
11																0,00	0,00	0,00	0,00
12																0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Maia, 2023.

Ao todo, foram tabulados 83 meses (1.673) dias de produção fabril, totalizando 37.643 linhas de planilha, sendo que cada entrega de RCD realizada corresponde a uma linha da planilha.

Para o cálculo de algumas etapas, foram utilizados dados secundários resultantes de pesquisas realizadas por Paz (2020), a partir de diferentes dados primários de entrada (matéria-prima, energia, água e combustível) e saída (produtos, emissões de CO<sub>2</sub>, efluentes, energia incorporada e resíduos) coletados da mesma empresa.

Os dados coletados por Paz (2020) foram analisados com o objetivo de identificar aspectos ambientais que possam ser melhorados dentro do processo de produção do AR, utilizando o método de inventário do ciclo de vida (ICV) e foram fundamentais para concluir este trabalho. Como parte dos resultados obtidos, na Tabela 2 apresentam-se as proporções de agregado reciclado produzido com 1m<sup>3</sup> de RCD, calculados por Paz (2020):

Tabela 2 - Produtos gerados com 1m<sup>3</sup> de AR produzido na unidade em estudo.

Produto	Areia	Pedrisco	Brita 1	Bica Corrida	Rachão
Descrição	Ømáx < 4,8mm	Ømáx < 6,3mm	Ømáx < 39mm	Ømáx < 63mm	Ømáx < 150mm
Volume (m <sup>3</sup> )	0,26	0,255	0,255	0,16	0,07

Fonte: Adaptada de Paz, 2020.

Com o planilhamento dos dados de entrada de RCD na central de beneficiamento e os indicadores referentes a um ano de produção levantados por PAZ (2020), foi possível fazer a análise de gestão e produção da fábrica, calcular e analisar quali e quantitativamente o output (saída do produto, neste caso, o agregado reciclado) e suas variações (areia, pedrisco, brita 1, bica corrida e rachão).

### 3.2 SURVEY COM GESTORES/PROPRIETÁRIOS DE CENTRAIS DE RECICLAGEM DE RCD – ETAPA 2

Por se tratar de um estudo de caso, os resultados obtidos em parceria com uma recicladora da região oeste do Paraná não podem ser generalizados, visto que condizem com a realidade da mesma e são influenciados por fatores característicos da região. Assim, com o intuito de mapear os agentes que interferem na circularidade da cadeia produtiva de RCD nas demais localidades do país, foi desenvolvido um questionário online para levantamento destes dados, para servirem de comparativo com esta pesquisa.

Inicialmente, o questionário foi dividido em 2 seções. A primeira incluiu o perfil do respondente e a segunda, os dados de produtividade da empresa (subdividido em: entrada de matéria-prima, produtividade, saída de produtos e questões gerais). Após testes para validação da survey, percebeu-se que o questionário precisava ser ajustado para que atingisse o objetivo da pesquisa. O teste do questionário foi conduzido junto a empresa em estudo e com um pesquisador com experiência em survey.

A versão definitiva da survey (Apêndice A), elaborada com a ferramenta Google Forms, conta com perguntas abertas e fechadas e foi subdividida em: 1) Perfil do respondente; 2) Dados da Empresa e 3) Produtividade.

Em um primeiro momento, o questionário foi enviado através de diferentes meios de comunicação (e-mail, WhatsApp e telefone) às empresas associadas à ABRECON (Associação Brasileira para Reciclagem de RCD). Das 40 usinas de reciclagem associadas na ABRECON, foram contatadas 39 com retorno de apenas 7 respostas. A empresa em estudo faz parte da associação e colaborou com a estruturação do questionário, portanto não foi considerada para respondê-lo. Com esta estratégia, não se obteve o alcance necessário para a realização das análises estatísticas, fez-se uma busca de outras unidades beneficiadoras instaladas no país,

utilizando a ferramenta Google Maps, em que foram incluídas mais 25 empresas a amostra, escolhidas considerando as cinco regiões do Brasil, com o intuito de abranger todas as áreas de produção em território nacional e suas diferenças. Ao final, das 64 empresas contatadas foram recebidos 13 formulários preenchidos válidos, correspondendo a uma taxa de retorno de 20,3%. No Brasil, de acordo com Angulo (2023), existem 575 empreendimentos mapeados pela ABRECON dos quais 344 estão em operação. Portanto, a taxa de retorno condiz com 4% de todas as unidades operantes em território nacional.

Após a coleta dos dados, eles foram tabulados em planilha Excel (Apêndice B) para elaboração de gráficos e análise de resultados.

## 4 RESULTADOS

Os resultados obtidos são decorrentes da análise dos dados de input (entrada de matéria-prima) fornecidos pela empresa participante da pesquisa. No total, foram oito anos de informações coletadas durante a produção fabril.

### 4.1 EMPRESA EM ESTUDO

A empresa do segmento de reciclagem de materiais parceira deste estudo está localizada em Cascavel, oeste do Paraná, e começou suas atividades em julho de 2015, a qual possui os seguintes *stakeholders*<sup>3</sup> descritos na Tabela 2:

Tabela 2 – Representação dos *stakeholders* na cadeia de suprimentos do RCD.

Stakeholders	Descrição	Cadeia de suprimentos em que atua
Gerador	Pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, que geram resíduos sólidos por meio de suas atividades, nelas incluído o consumo	indústria da construção e dos resíduos de construção e demolição.
Transportador	Pessoa jurídica, de direito público ou privado, licenciada para a coleta e transporte de resíduos	indústria da construção e dos resíduos de construção e demolição.
Recicladora	Pessoa jurídica, de direito público ou privado, licenciada para a recepção, triagem, processamento, depósito e comercialização de resíduos classe A (CONAMA 307)	resíduos de construção e demolição.
Consumidor	Pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, apta a aquisição do material reciclado	Indústria da construção.
Regulador	Órgãos públicos envolvidos no licenciamento e fiscalização dos processos, responsáveis pela aplicação da legislação vigente	indústria da construção e dos resíduos de construção e demolição.
Recicladora de outras classes	Pessoa jurídica, de direito público ou privado, licenciada para a coleta, transporte, recepção, triagem, processamento, depósito e comercialização de resíduos e de material reciclado das classes B, C e D (CONAMA 307)	resíduos de construção e demolição.
Entidades	Universidades, associações, sindicatos, entre outros	indústria da construção e dos resíduos de construção e demolição.

Fonte: Demoliner; Possan (2018).

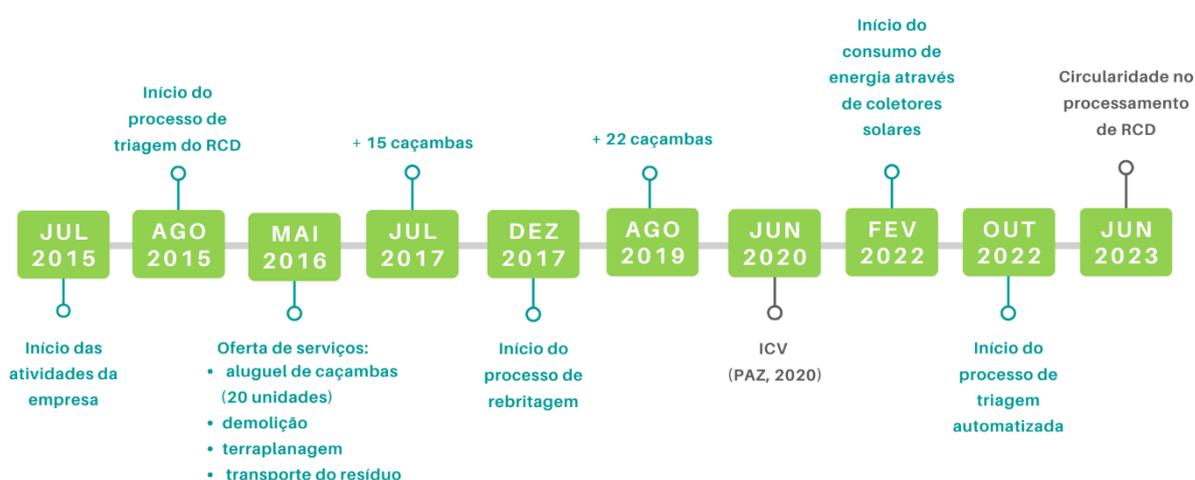
<sup>3</sup> Freeman (1984) define *stakeholders* como sendo grupos ou indivíduos que podem influenciar ou serem influenciados pelas ações, decisões, políticas, práticas ou objetivos de uma organização, ou seja, envolve todas as partes interessadas de uma empresa/organização.

De maneira cronológica, como mostrado na Figura 7, em agosto de 2015 a empresa iniciou o processo de triagem do RCD, visto que o resíduo chegava com grande porcentagem de contaminantes, os quais não podem estar presentes no processo de beneficiamento já que influenciam negativamente na qualidade do agregado produzido.

Com insuficiência na disponibilidade de matéria-prima para o plano inicial da recicladora, em maio de 2016 implementou-se o aluguel de caçambas, fazendo com que o processo fabril não dependesse, em suma, da oferta de resíduos provenientes de outras empresas transportadoras. Desse modo, a empresa garante um volume mínimo de matéria-prima para manter suas atividades e passa a ter dois meios de faturamento: comercialização de seus produtos e oferta de serviços.

Na mesma época, além dos problemas com disponibilidade de matéria-prima, a recicladora sofreu alterações significativas em seus recebimentos de RCD decorrentes da instalação de uma empresa concorrente na região. Somado ao fato de que ainda existem paradigmas culturais envolvendo a reciclagem dos resíduos de construção e o uso do agregado reciclado nas obras, a procura pelos trabalhos ofertados ficou limitada e a saída encontrada foi oferecer outros serviços como demolição, terraplanagem e transporte do resíduo gerado para a sustentabilidade econômica da empresa.

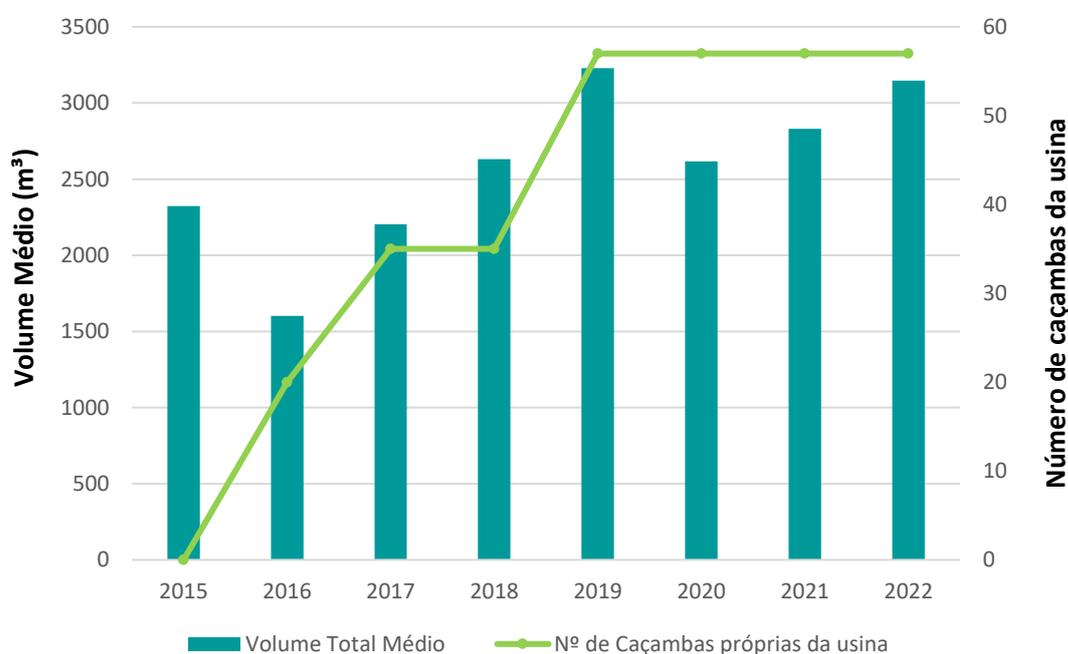
Figura 7 - Linha do tempo com evolução das atividades implementadas na recicladora em estudo



Fonte: Maia, 2023.

Na Figura 8 é mostrado que as ações envolvidas na oferta de serviços a partir de 2016 tiveram resultados positivos e em julho de 2017, houve a adição de 15 caçambas para atender a demanda da região, passando de 20 para um total de 35 e em agosto de 2019, o número aumentou para 57 caçambas atendendo ao fluxo de RCD que chega até a central de reciclagem. Desde então, não houve aumento do número de oferta de caçambas pela empresa, devido a estabilização de demanda por matéria-prima.

Figura 8 - Relação entre o número de caçambas disponíveis para aluguel e o volume de RCD médio recebido pela usina.



Fonte: Maia, 2023.

De acordo com o diretor proprietário da usina, nos primeiros anos de operação fabril, percebeu-se a ineficácia da triagem através da catação manual. O processo demandava muito tempo e aumentava os custos para a empresa, fazendo com que fosse necessário a adoção de um novo mecanismo para tornar a etapa de triagem mais eficaz e diminuir custos. Com isto, em outubro de 2022 a usina passou a aplicar o processo de triagem automatizado. O pré-peneiramento e a mesa de triagem em altura facilitaram o trabalho, trazendo mais ergonomia e segurança aos trabalhadores, além de melhorar a qualidade do RCD para processamento final (redução de impurezas).

## 4.2 FLUXO DE MATÉRIA-PRIMA AO LONGO DO TEMPO

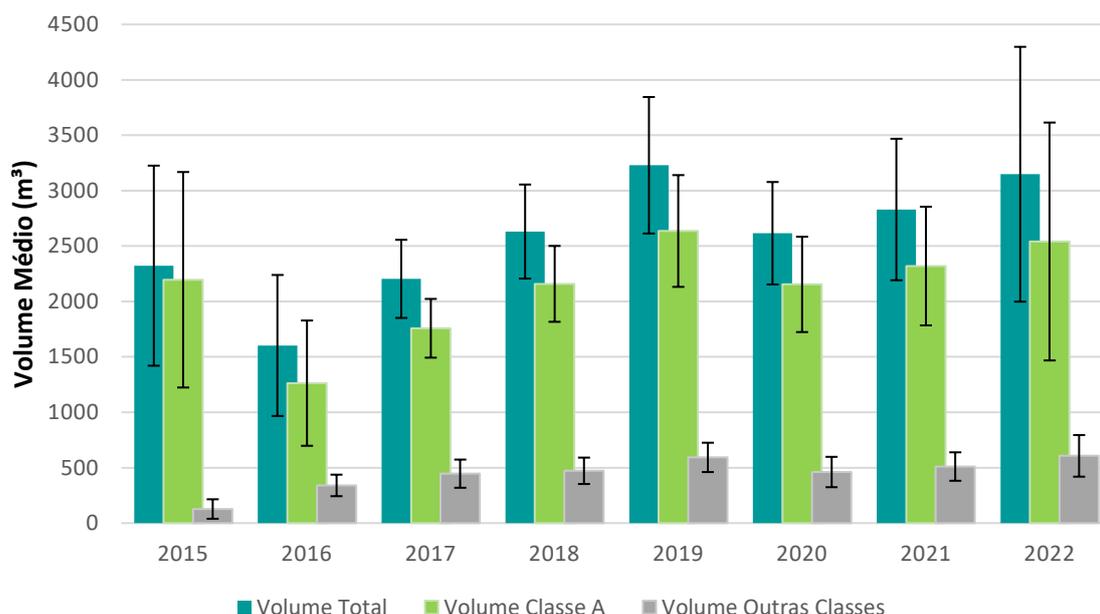
De acordo com a resolução CONAMA N° 307 (BRASIL, 2002) os resíduos passíveis de processos de reciclagem estão incluídos na “Classe A”, os quais são fonte de matéria-prima para produção de AR nas centrais de reciclagem fixas ou móveis. As demais classes (B, C e D) podem ser separadas diretamente no canteiro de obras (solução ideal) ou quando isso não ocorre, tem-se o processo de triagem para separação das diferentes classes de resíduos na central de beneficiamento (solução paliativa).

Na empresa em estudo, os resíduos de outras classes que chegam à planta industrial e possuem valor comercial, são comercializados em outras empresas/cooperativas de reciclagem. Os resíduos não comercializáveis (não inertes, contaminados, madeira, etc) são enviados à destinação final adequada, com custos de destinação repassados ao gerador. Nota-se que a quantidade de resíduos de classe A recebida na usina é superior às demais classes, da ordem de 81% (Figura 9). Porém a quantidade de outras classes (B, C, D e contaminantes) ainda é significativa, denotando que há influência no processo de separação de resíduos no canteiro de obras.

Um panorama do fluxo anual de matéria-prima dos oito anos de produção fabril foi apresentado na Tabela 3 (ver Apêndice C). O gerador é o principal responsável pela qualidade da matéria-prima que chega até as recicladoras e o hábito de misturar em uma mesma caçamba todo e qualquer tipo de resíduo gerado na obra ainda é prática em muitas construções.

Pelo desvio padrão nota-se a variabilidade dos resultados mês a mês, decorrentes da sazonalidade dos fatores que influenciam na produção do AR, como períodos chuvosos, recesso de final de ano, COVID 19, etc.

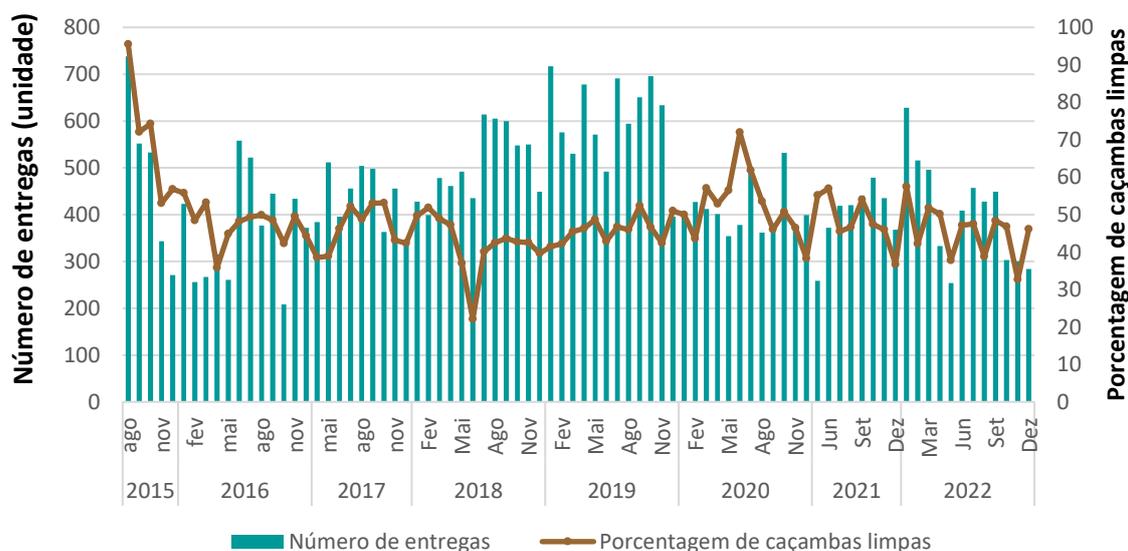
Figura 9 – Volumes médios e totais anuais de RCD recebidos por classe de resíduos.



Fonte: Maia, 2023.

Na Figura 10 nota-se a relação entre o número de entregas com a percentagem de caçambas que precisam de triagem (ou seja, que possuem resíduos de outras classes ou contaminantes junto com o resíduo “Classe A”). Em média, apenas 49% das caçambas chegam limpas até a unidade beneficiadora e 27% demanda triagem adicional devido a presença de resíduos contaminantes.

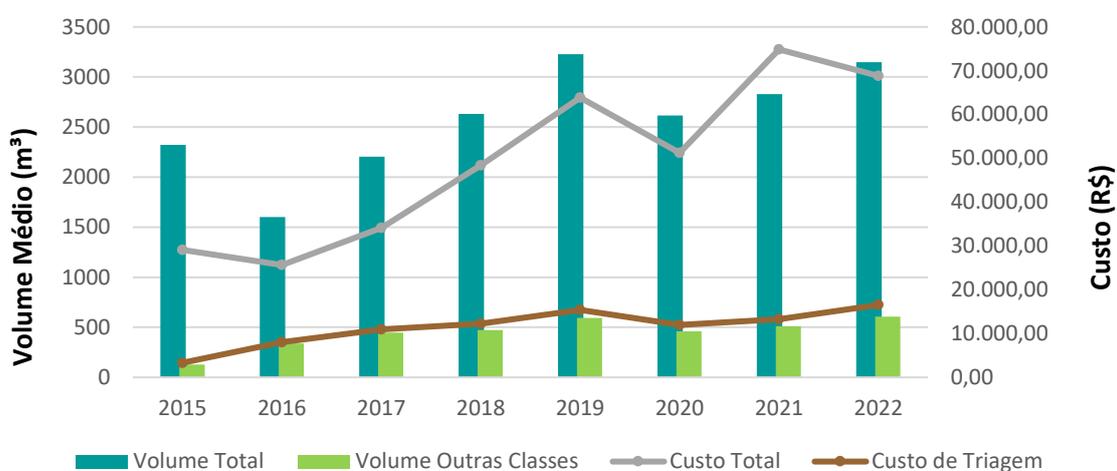
Figura 10 - Relação entre o número de entregas e percentagem que não demanda triagem.



Fonte: Maia 2023.

A necessidade de triagem (separação dos itens não pertencentes à "Classe A") impacta diretamente na qualidade do agregado reciclado produzido e no preço final do produto ofertado após o beneficiamento do RCD. É possível observar na Figura 11, que quanto mais contaminada por resíduos de outras classes uma caçamba está, maior é a necessidade da realização de triagem e consequentemente, mais caro fica para o gerador fazer a destinação correta do resíduo gerado.

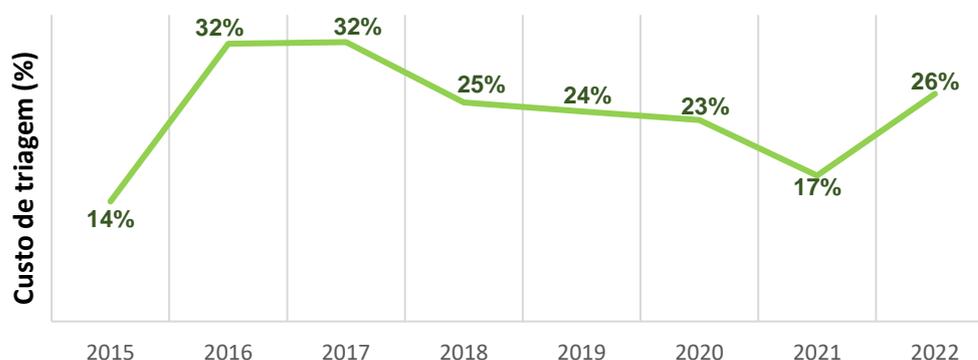
Figura 11 - Relação do volume total recebido e os custos para triagem e disposição total.



Fonte: Maia, 2023.

Pode-se dizer que o custo final da destinação do RCD em uma central de reciclagem é linearmente dependente da qualidade do resíduo que chega até as beneficiadoras. Quanto mais contaminada a caçamba com resíduos não classificados como "classe A", maior o custo de triagem e o valor para a disposição final.

Figura 12 – Variação do custo de triagem ao longo dos oito anos de produção fabril.



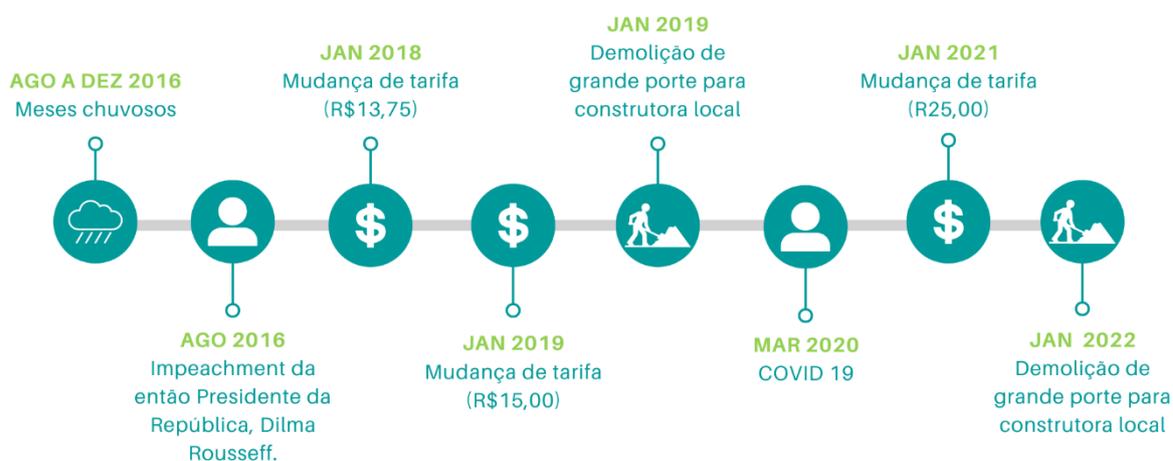
Fonte: Maia, 2023.

Durante os oito anos de produção analisados, as atividades de triagem chegaram a aumentar em 32% o custo de disposição final do RCD, como mostrado na Figura 12. Em média, o processo representa um acréscimo de 24% aos custos do gerador de RCD.

#### 4.3 FATORES EXTERNOS QUE INFLUENCIAM NA CADEIA PRODUTIVA DOS AGREGADOS RECICLADOS DE RCD

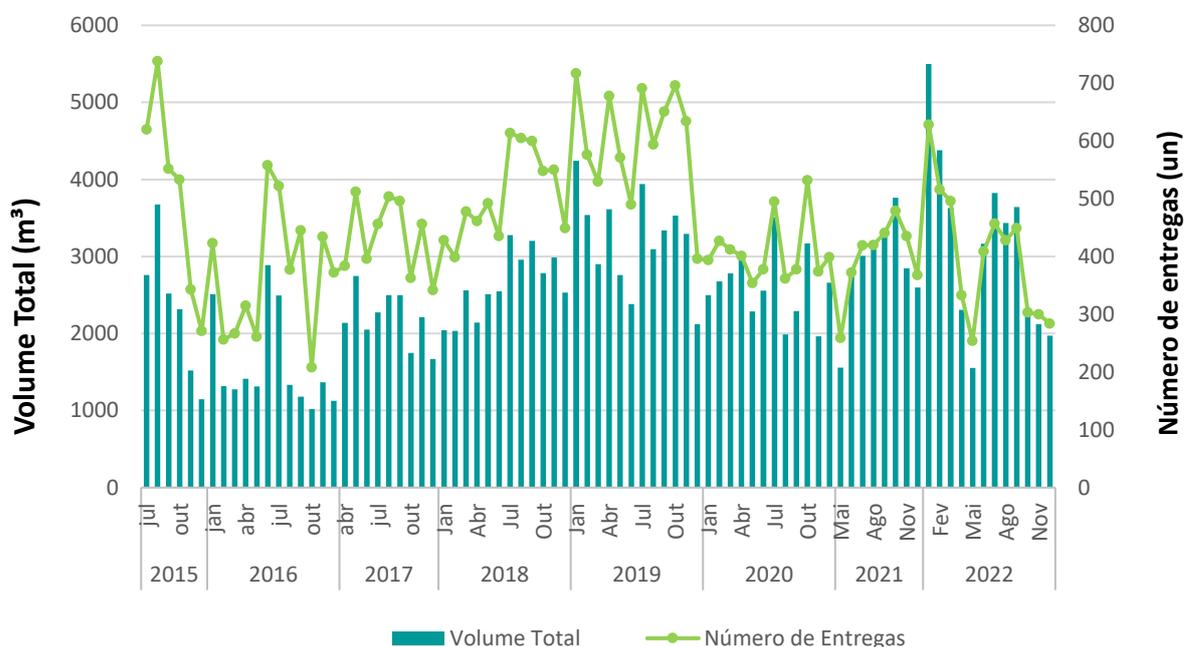
Na Figura 13 é apresentado um compilado dos principais eventos que acometeram a produção de agregado reciclado nos oito anos de produção fabril da unidade em estudo. Todos os apontamentos foram comentados pelo diretor proprietário da empresa.

Figura 13 - Linha do tempo dos fatores externos que interferiram na produção do agregado reciclado durante os 8 anos de processo fabril.



Fonte: Maia, 2023.

Figura 14 - Número de entregas e volume total de RCD recebidos durante os oito anos de produção fabril.



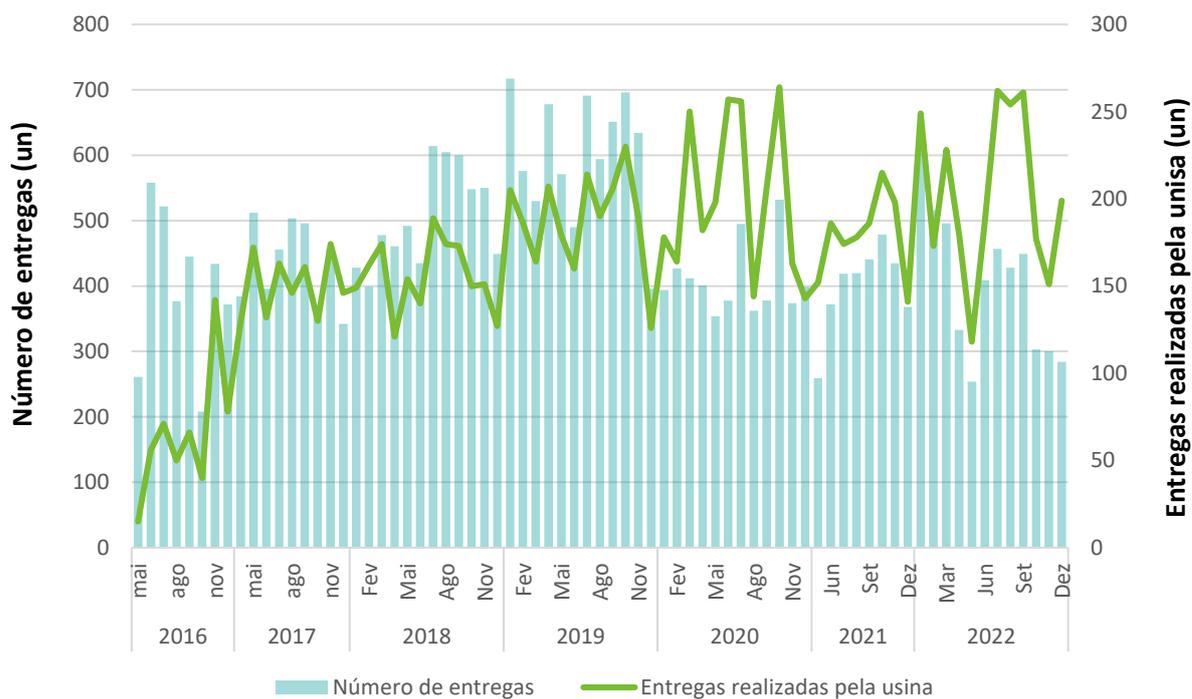
Fonte: Maia, 2023.

De início, a empresa beneficiadora participante da pesquisa tinha o intuito de ser ponto de destinação final de RCD e também, prover agregado reciclado para a região. Contudo, fatores externos como políticas públicas, concorrência, mercado da construção civil na região e entre outros, indicaram a necessidade de escalar o negócio e repensar o propósito inicial da empresa.

Sendo assim, a partir de maio de 2016, a empresa passou a ofertar a opção de aluguel de caçambas e transporte dos resíduos. Com a execução destes serviços, observa-se um crescimento de aproximadamente 232% em 2016 para 2017 (Figura 13).

A central recicladora deste estudo possui parceria com demais transportadoras da região para as entregas de resíduos. Porém, atualmente a coleta e transporte pela própria empresa representa um volume significativo e lidera, com 38%, o número de entregas realizadas, fazendo com que se tenha sustentabilidade econômica e mais matéria-prima disponível para processamento. Isto explica o crescimento gradual no número de entregas realizadas pela própria empresa nos anos seguintes, como apresentado na Figura 15.

Figura 15 – Crescimento no serviço de transporte oferecido pela beneficiadora do estudo.



Fonte: Maia, 2023.

Comparando o crescimento da oferta de serviços com a comercialização do AR no mesmo intervalo de tempo (2016 a 2017), de acordo com o diretor da central, a busca pelo agregado reciclado cresceu somente cerca de 9%. O pequeno crescimento na compra do AR está relacionado a questões culturais e principalmente, políticas públicas que assegurem a produção do mesmo e são fundamentais no processo de reciclagem, do contrário, tal processo torna-se inviável economicamente e as empresas deste nicho não teriam autonomia financeira.

A venda de areia reciclada passou a sofrer alterações significativas a partir de dezembro de 2017, quando a usina implementou o processo de rebitagem em sua cadeia produtiva, devido às obras públicas de parques lineares na região que utilizaram grandes volumes do material e a empresa foi responsável por fornecê-lo. Na época, a produção de areia era baixa e a demanda de compra aumentou em decorrência dessas obras. A quantidade gerada foi maior do que o necessário e gerou excedentes.

A dificuldade na saída de produtos de menor granulometria, principalmente areia reciclada, se intensificou após estas mudanças no processamento do RCD ocorridas em 2017. Apesar de melhorar a qualidade do agregado, a rebitagem aumenta a produção e mesmo com a melhora na demanda

de contratação, ainda houve excedentes. O que poderia ser resolvido se, ao final da cadeia produtiva, existissem políticas públicas de incentivo ao uso e aplicação de materiais reciclados no setor da construção, bem como oferecimento de benefícios ou recompensas às partes envolvidas.

Outros fatores que são significativos para a produção do agregado reciclado são: o clima, economia e mercado da construção civil na região. Meses mais chuvosos, como por exemplo de agosto a dezembro de 2016, tendem a diminuir os volumes totais de RCD recebidos (Figura 14), visto que as atividades tanto da construção civil quanto da beneficiadora, ficam limitadas ou até mesmo impossibilitadas de serem desenvolvidas. Neste mesmo ano, segundo informações do diretor da empresa, o fator economia também gerou impactos e diminuição na produtividade. O impeachment da então Presidente da República, intensificou a crise econômica que já vinha se arrastando no Brasil.

Em se tratando do mercado da construção civil, a central de reciclagem depende da entrada de resíduos de construção para manter seu processo fabril. Como já citado, atualmente tem-se dois meios de faturamento na empresa, a oferta de produtos e serviços, porém ambos dependem da movimentação da construção civil na região. Por exemplo, entre dezembro de 2018 e janeiro de 2019, houve uma demolição de grande porte para uma construtora local, o que gerou uma quantidade significativa de RCD. O volume de resíduo recebido nessa época se destaca quando comparado aos mesmos meses dos anos anteriores, visto que se trata de um período com menos dias de trabalho em decorrência das festas de fim de ano e férias coletivas. O mesmo fator acomete o mês de janeiro de 2022 (Figura 14), onde o volume de RCD gerado em outra demolição de grande porte supera os anos anteriores.

Em março de 2020, a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou a pandemia do novo Coronavírus (COVID-19), fazendo com que muitas atividades presenciais fossem interrompidas. Até maio, mês em que a construção civil foi considerada como atividade essencial, houve uma pequena variação no número de entregas e volume de RCD que não afetou demasiadamente a usina do estudo. O trabalho no setor manteve certa estabilidade e isto pode ser explicado pelo maior tempo de permanência das pessoas em casa. Houve a necessidade de reformas para adequar ou criar novos espaços de home-office, estudo e lazer, além da adaptação de estabelecimentos comerciais para atender as exigências da OMS e as novas

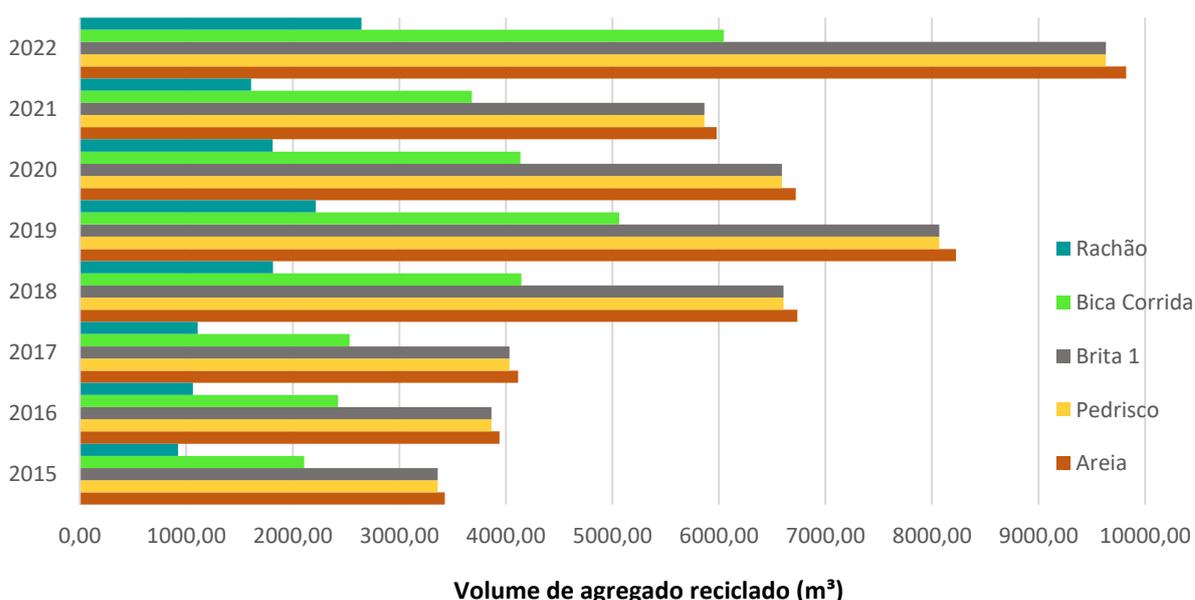
ofertas de serviço, como delivery e e-commerce (VALVERDE, 2020).

#### 4.4 RELAÇÃO ENTRE A QUANTIDADE DE MATÉRIA-PRIMA RECEBIDA E O TOTAL DE AR PRODUZIDO

A quantidade de matéria-prima recebida não é totalmente revertida em agregado reciclado, visto que a fábrica não recebe resíduos “puros”, ou seja, somente resíduos de classe A e passíveis de reciclagem. Existe uma porcentagem significativa de RCD de outras classes (Figura 9), as quais não podem seguir para o processo de reciclagem e produção de agregados. Deve-se considerar, também, o empolamento do material. Enquanto o RCD possui massa unitária de  $1.200\text{kg/m}^3$ , o agregado reciclado varia entre  $1.300$  a  $1.600\text{kg/m}^3$  (PAZ, 2020). Tal diferença é explicada pelo fato de que o volume do resíduo é maior antes de ser processado.

De acordo com Paz (2020), a cada  $1\text{m}^3$  de AR produzido tem-se: 26% areia, 25,5% pedrisco, 25,5% brita 1, 16% bica corrida e 7% rachão. A partir destes dados, fez-se o levantamento da produção destes subprodutos, de acordo com o volume de resíduos de classe A durante cada um dos oito anos de processo fabril analisados, representado na Figura 16.

Figura 16 – Volume dos subprodutos de AR produzidos por ano ao longo dos 8 anos de produção fabril.



Fonte: Maia, 2023.

Ao todo, os oitos anos de produção analisados somaram 188.317m<sup>3</sup> de RCD “classe A” recebidos e destes, 48.962m<sup>3</sup> foi convertido em areia reciclada, 48.021m<sup>3</sup> pedrisco reciclado, 48.021m<sup>3</sup> brita 1 reciclada, 30.131 bica corrida e 13.182m<sup>3</sup> foi convertido em rachão. Nota-se que o volume de agregado fino sempre se sobressaiu aos demais subprodutos, porém é perceptível o aumento do volume destes após o ano de 2017 e aplicação do processo de rebitagem na cadeia de produção.

No Brasil, de acordo com a ANEPAC, em 2020 foram produzidos 605 milhões de tonelada de agregado natural, sendo 353 milhões de tonelada de areia e 252 milhões de tonelada de brita. Na empresa do estudo de caso, no mesmo ano foram produzidas 37.482,5 toneladas de areia reciclada e 9.558,4 toneladas de brita reciclada que podem substituir o uso deste agregado natural.

#### 4.4 SURVEY

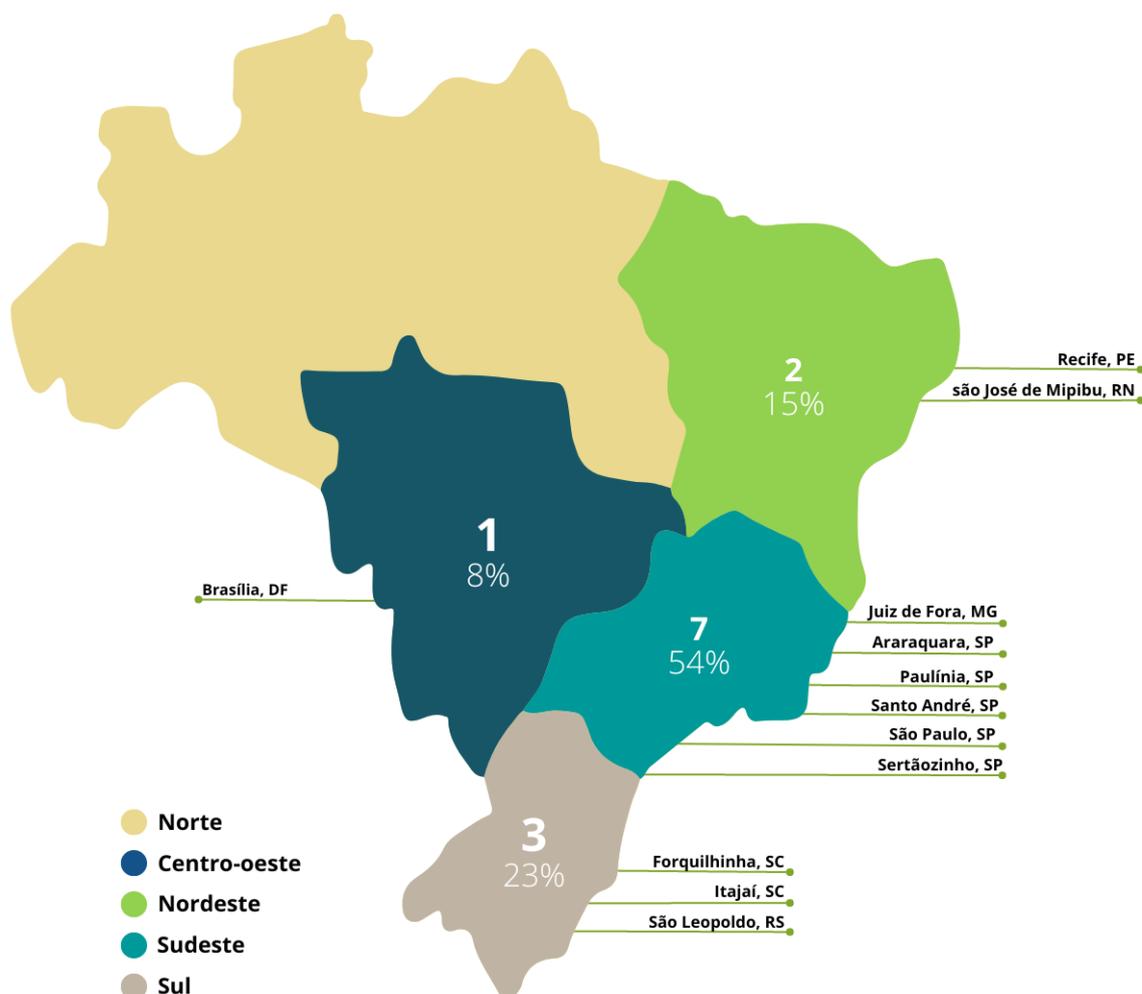
Nesta seção, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos com o levantamento de dados via survey (questionário) com gestores/proprietários de centrais de reciclagem de RCD no Brasil, onde perguntou-se sobre os dados característicos da empresa, como por exemplo o volume médio de RCD recebido em 2022 e produtividade, incluindo uma análise sobre os principais fatores abordados nesta pesquisa e que influenciam na produção do agregado reciclado.

##### 4.4.1 Descrição da amostra de estudo

Ao todo, 65 unidades beneficiadoras de RCD receberam o formulário, enquanto apenas 15 responderam. Duas das respostas precisaram ser excluídas em decorrência de divergências com a pesquisa, incidindo em 13 respostas válidas para análise e estatística descritiva.

A amostra de respondentes inclui quatro das cinco regiões do país, sendo a região Sudeste a mais representativa na participação da pesquisa (cerca de 54%), como mostrado na Figura 17.

Figura 17 – Quantidade de respondentes por região de atuação.



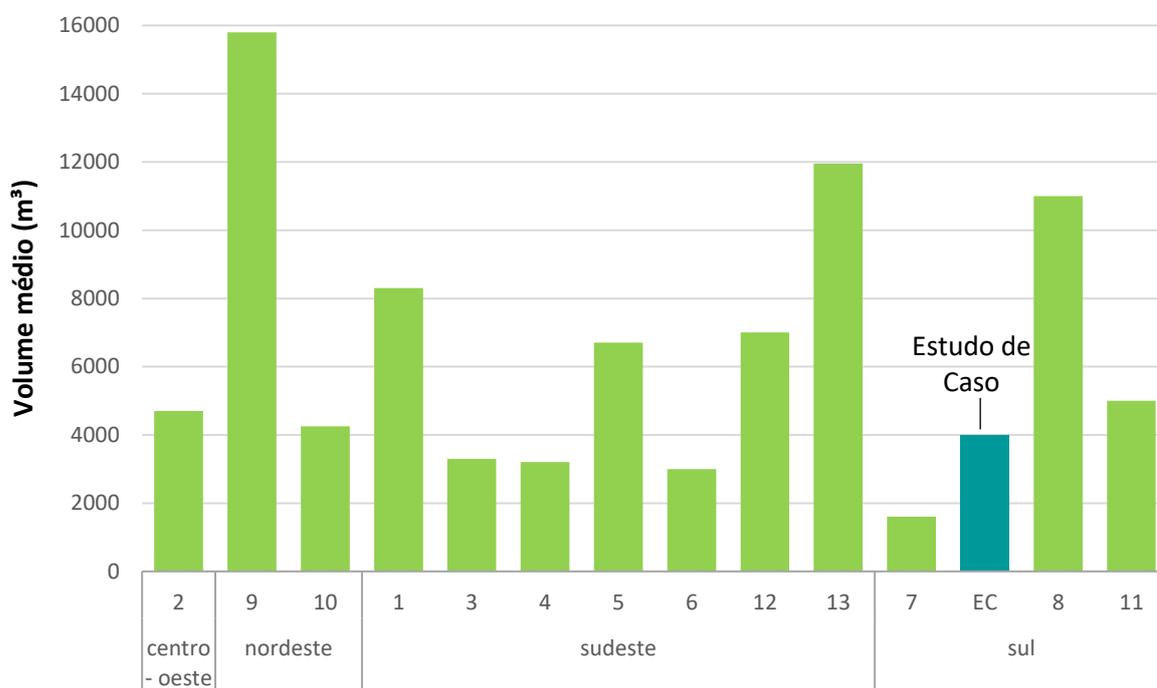
Fonte: Maia, 2023.

#### 4.4.2 Dados da empresa

Para assegurar o anonimato de cada uma das respondentes do questionário, as mesmas serão identificadas através de numeral cardinal, de 1 a 13.

Todas as unidades beneficiadoras que participaram da pesquisa são um modelo de negócio totalmente privado e apresentam certa discrepância entre o volume médio recebido no ano de 2022, representado na Figura 18. As usinas 7, 8, 9, 11 e 13 foram contactadas para verificação do volume médio anual fornecido, sendo os mesmos confirmados pelos respondentes. A beneficiadora 7 ainda informou que o baixo volume se deve ao fato do beneficiamento de RCD não ser a atividade principal desenvolvida na empresa, além de ser nova no ramo, com início das atividades em 2021.

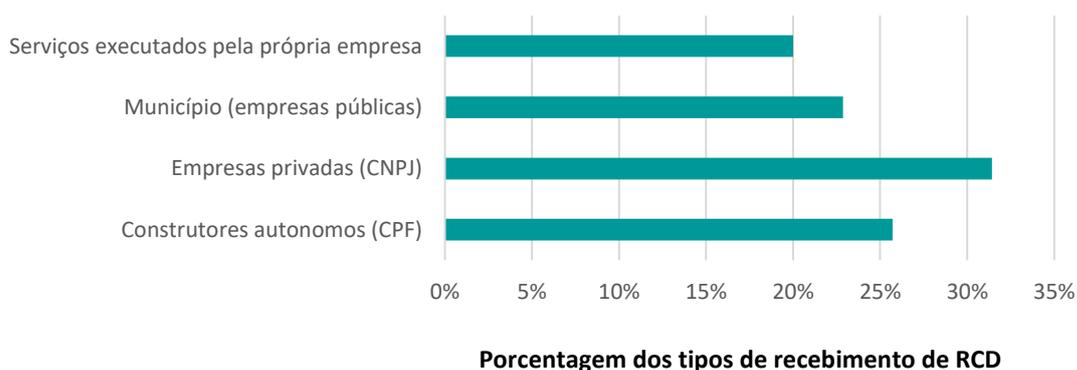
Figura 18 – Volume médio de RCD recebido pelas beneficiadoras em 2022.



Fonte: Maia, 2023.

Na Figura 19 é mostrada a relação dos diferentes meios de recebimento de RCD em cada uma das beneficiadoras. Levando em consideração que uma mesma empresa recebe resíduos de mais de um tipo de gerador, nota-se que a maioria das entregas (31%) provém de empresas privadas (CNPJ), seguida por pequenos construtores (CPF), empresas públicas (município) e por último, 20% da matéria-prima é proveniente de serviços executados pela própria beneficiadora, tais como demolição, escavações, terraplanagem, entre outras.

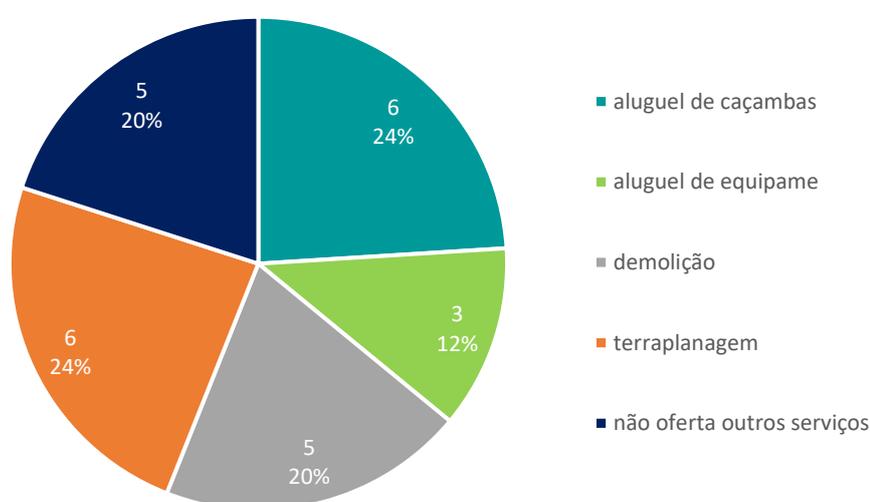
Figura 19 – Diferentes tipos de recebimento de RCD nas usinas beneficiadoras respondentes.



Fonte: Maia, 2023.

Das 13 usinas respondentes, apenas 5 não oferecem outros serviços além do beneficiamento do RCD e 61% afirmam que transformaram a oferta de produto em serviço, tais como aluguel de caçambas e equipamentos, demolição e terraplanagem para manter as atividades das beneficiadoras e gerar fluxos (tanto capital como o de produtos). Na Figura 20 tem-se um compilado de todos os serviços adicionais ofertados por cada usina respondente.

Figura 20 - Serviços ofertados pelas usinas de reciclagem além do beneficiamento de RCD.



Fonte: Maia, 2023.

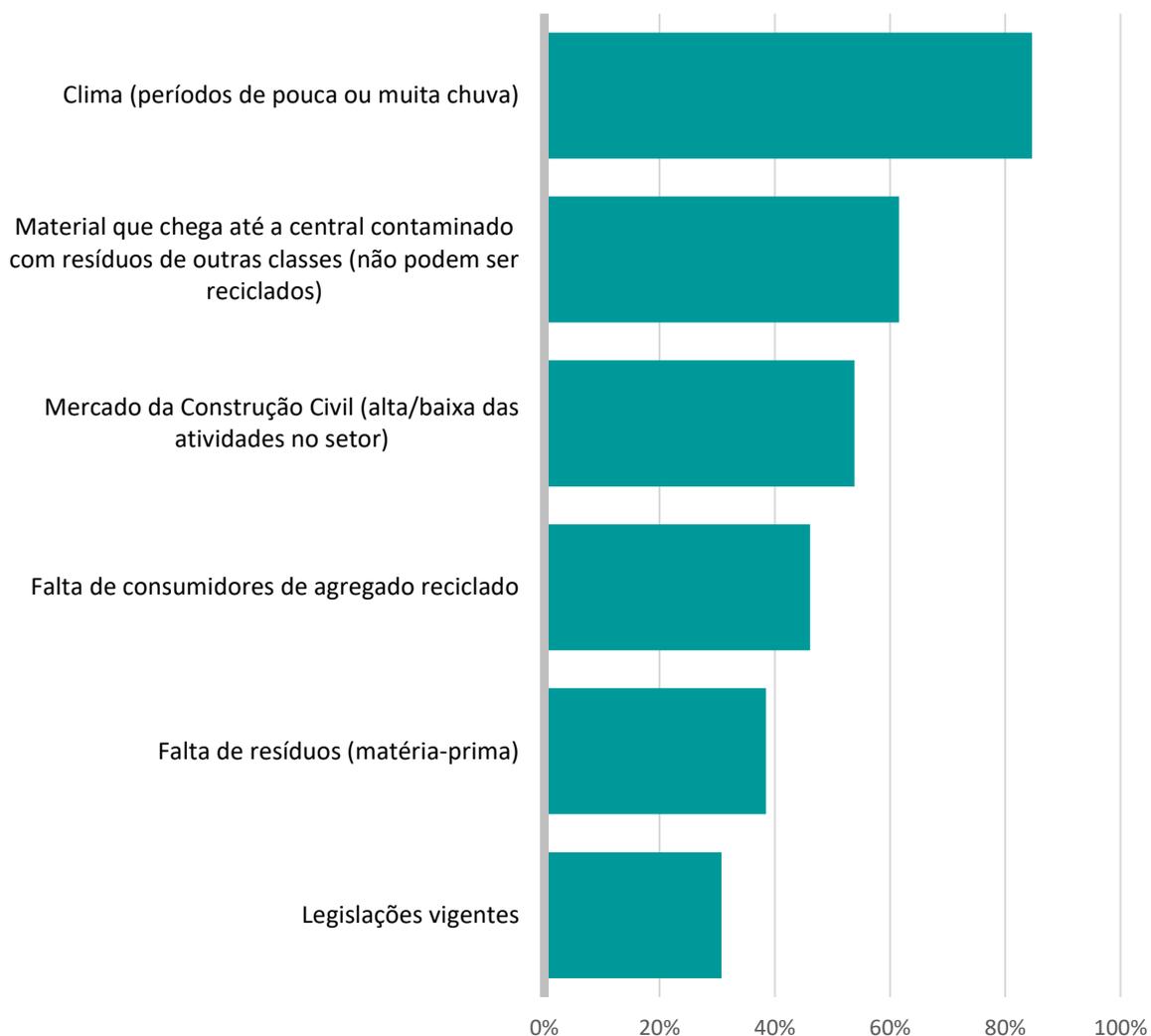
Similar ao observado na mesma empresa do estudo de caso em análise neste estudo, a fim de melhorar a qualidade do agregado reciclado, 11 das 13 usinas costumam realizar o trabalho de orientação do gerador, fornecendo informações quanto a importância da separação do resíduo ainda no canteiro de obras, para que as entregas cheguem cada vez mais livres de resíduos que não podem ser reciclados.

#### 4.4.3 Produtividade

Dentre os diferentes fatores que interferem na cadeia de beneficiamento do RCD, as usinas participantes responderam que o clima é o principal. Cerca de 84% dos respondentes consideram que períodos de pouca ou muita chuva impactam diretamente nas atividades das empresas. Na Figura 21 é

apresentada a classificação da importância de cada um dos fatores frente a realidade das usinas respondentes.

Figura 21 – Classificação da importância dos fatores que influenciam na produção do AR.



Fonte, 2023.

A qualidade do material que chega nas usinas vem em segundo lugar como uma das principais preocupações na produção das usinas, o que reforça a importância de se triar o resíduo gerado ainda in loco, para melhorar a qualidade do AR e garantir que sua utilização seja economicamente mais vantajosa e segura.

No estudo de caso realizado com uma beneficiadora da região oeste do Paraná, constatou-se que os fatores externos de maior influência são: a qualidade (ausência de contaminantes) do resíduo que chega até a central,

legislações associadas ao setor e dificuldade da comercialização do agregado produzido (especialmente quando contaminado).

Comparando os resultados da survey com os resultados obtidos no estudo de caso, percebe-se que há convergência entre ambos. A diferença na classificação de importância/influência se deve ao fato de que cada região apresenta suas particularidades, porém as análises possuem alinhamento.

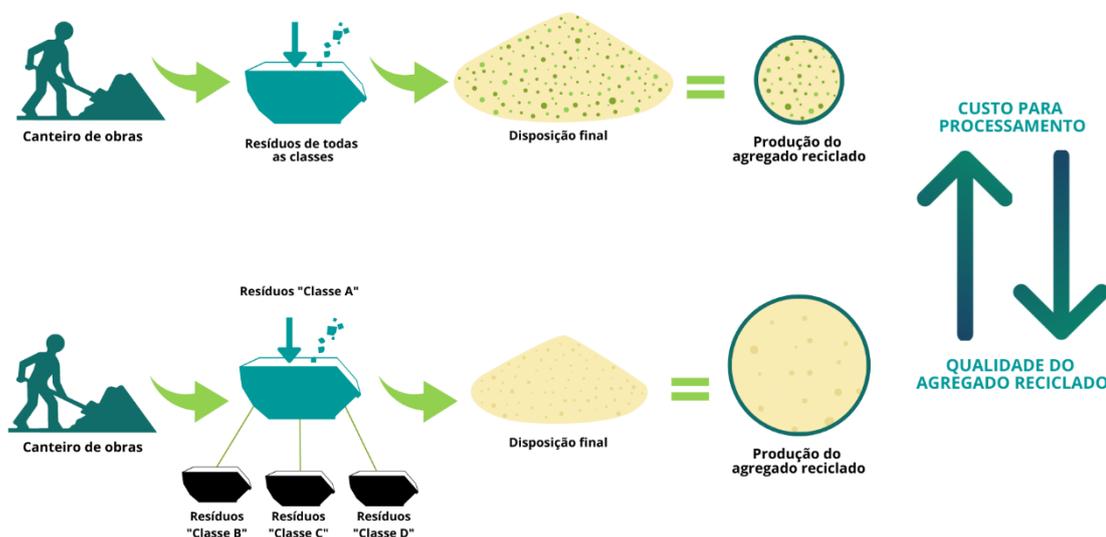
#### 4.5 ANÁLISE GLOBAL

A empresa beneficiadora participante do estudo de caso, é um modelo de negócio totalmente privado e que representa o sistema de produção empurrada, ou seja, tem seus processos baseados em previsão de demandas, onde se produz grandes volumes independentemente do consumo. Tais características somadas aos fatores externos que influenciam na produção do agregado reciclado, fazem com que a empresa e o setor necessitem de novas políticas públicas de incentivo ao uso e aplicação de agregados reciclados, que assegurem tanto a empresa quanto o consumidor.

Ao oferecer o serviço de aluguel de caçambas, a empresa conseguiu melhorar a qualidade da matéria-prima que chega até o consumidor além de garantir o fluxo de matéria-prima para a unidade de beneficiamento. Com essa estratégia, foi possível se aproximar mais do gerador e realizar o trabalho educativo sobre a importância de se fazer a gestão do resíduo ainda no canteiro de obras, dessa forma, o gerador reduz os custos com triagem e melhora a qualidade da matéria-prima que chega na indústria. Na survey conduzida com 13 empresas do setor, constatou-se que a maior parte das empresas adotam estratégia similar em seus processos produtivos.

Com base nos resultados obtidos verificou-se que onde se tem processos de triagem implementados, como esquematizado na Figura 22, os custos de destinação do RCD são diretamente proporcionais à qualidade do resíduo recebido na recicladora, que é relacionado aos cuidados com a separação no local de produção do RCD (ou seja, no canteiro de obras).

Figura 22 - Esquematisação da influência da separação do RCD no canteiro de obras e qualidade do agregado reciclado.



Fonte: Maia, 2023.

Os esforços para disseminar a reciclagem do RCD e promover a circularidade também enfrentam barreiras culturais, uma vez que muitos consumidores ainda possuem visão negativa frente a produtos reciclados/reutilizados, associando os termos a qualidade inferior.

Faz-se necessário melhorar o processo de separação do RCD no canteiro de obras, que demanda de educação e conscientização do gerador e da população como um todo, para minimizar a triagem na recicladora e melhorar a qualidade do agregado reciclado produzido. Também, faz-se necessário difundir as potencialidades e principais aplicações destes agregados na indústria da construção, com demonstrações e instruções técnicas para uso.

Na China, Huang et al. (2018), analisou através de revisões da literatura e entrevistas com 40 *stakeholders* da cadeia de suprimentos do RCD, frente aos conceitos da economia circular, quais as principais barreiras na gestão dos resíduos de construção e demolição no país e também constatou que a falta de orientação para coleta e triagem efetiva do RCD é a principal, quando se trata da reutilização desses materiais, além do mercado subdesenvolvido de produtos reciclados aplicados a construção civil.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 CONCLUSÕES

Neste estudo de caso realizado com uma central de processamento da região oeste do Paraná para avaliar a circularidade no processo de produção de agregados reciclados de RCD foi possível constatar que os fatores externos de maior influência são:

- i. A qualidade (ausência de contaminantes) do resíduo que chega na central de processamento;
- ii. As legislações associadas ao setor;
- iii. Dificuldade de comercialização do agregado produzido especialmente quando contaminados.

Na central de beneficiamento em estudo, os dados de oito anos de produção fabril indicaram que 81% do RCD que chega à unidade pertence a “Classe A”, sendo processado para a conversão em agregado reciclado.

Uma parcela significativa do RCD ainda é coletada contaminada com resíduos que não são passíveis de reciclagem o que interferem negativamente na qualidade do agregado reciclado e em seu valor de oferta, pois não são devidamente separados ou classificados em sua origem. Cerca de 51% das entregas realizadas na usina do estudo necessitam de triagem e destas, 27% demandam triagem adicional devido a contaminantes nos resíduos, incidindo em custos extras ao gerador.

Constatou-se que o custo final da destinação do RCD é linearmente dependente da qualidade do resíduo que chega até as beneficiadoras. Quanto mais contaminada a caçamba com resíduos não classificados como “classe A”, maior o custo de triagem e o valor para a disposição final, incidindo em um aumento médio de 24% aos custos do gerador que escolhe dar a destinação correta ao RCD.

Ao todo, durante oito anos de processos fabris, a central de reciclagem produziu 48.962m<sup>3</sup> de areia reciclada, 48.021m<sup>3</sup> de pedrisco reciclado, 48.021m<sup>3</sup> de brita 1 reciclada, 30.131 bica corrida e 13.182m<sup>3</sup> de rachão, cuja maior parte foi comercializada. O item de maior dificuldade de venda é a areia reciclada, resultando no maior estoque na planta.

Com a análise descritiva da survey, pode-se constatar que alguns fatores externos que influenciam na circularidade do processamento do RCD em diferentes regiões do país não condizem com a organização em estudo.

De acordo com as 13 empresas respondentes, o clima (períodos de pouca ou muita chuva) é o fator de maior influência na produção, seguido pela qualidade da matéria-prima que chega até a central. Por último, o fator considerado como sendo de menor influência são as legislações vigentes.

Esta não convergência entre os principais fatores de influência da survey com o estudo de caso indica que cada localidade e organização tem sua particularidade, afetando diretamente a produção do AR.

Dentre as empresas que responderam ao questionário, 61% oferecem outros serviços além do beneficiamento do RCD e 20% da matéria-prima que chega até as centrais é resultante destes serviços. A central de beneficiamento em estudo também precisou escalar seu escopo para ter sustentabilidade na cadeia e passou a ofertar serviços como aluguel de caçambas e transporte do resíduo, crescendo 232% em seu primeiro ano de aplicação (2016 a 2017). Tais serviços representam 38% das entregas de RCD na usina.

Por fim, esse estudo foi possível devido a parceria entre universidade e empresa e, sobretudo, pela última possuir dados de produção fabril confiáveis e sistematizados, podendo servir de benchmarking para empresas ou trabalhos futuros.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTUROS

Para melhorar a cadeia de produção dos agregados reciclados para e promover a circularidade, sugere-se para pesquisas e trabalhos futuros:

- Realizar estudos de caso em outras unidades de beneficiamento em operação nas diferentes regiões do país;
- Criar um dispositivo para o levantamento de dados sistemáticos das usinas beneficiadoras que estão em operação no país, bem como manter essas informações constantemente atualizadas em plataformas de fácil acesso, tanto a população no geral quanto aos atuantes no setor;
- Contribuir com o desenvolvimento de novas normas/leis de incentivo ao uso e aplicação de materiais reciclados na construção civil, bem como a padronização no processo de produção;
- Desenvolver materiais informativos para a população e stakeholders, a fim de disseminar a aplicação do AR e quebrar paradigmas culturais quanto ao uso de produtos reciclados e finalidade da caçamba de “entulho”, que dever ser exclusiva para resíduos da construção.

## REFERÊNCIAS

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**, 2022.

ALVES, J.L.; BORGES, I.B.; RAMOS, M.A.; DE NADAE, J.; GRANGEIRO, R.R. Economia Circular: O caso dos Resíduos da Construção Civil Cearense. In.: **Revista Produção Online**. Florianópolis, v. 20, n. 2, p. 449-471, 2020. Disponível em: <<https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/3825>>. Acesso em 25 de junho 2023.

ANEPAC – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção. Perspectivas para o Setor de Agregados. Disponível em: <http://www.anepac.org.br/agregados/mercado>. Acesso em: 25 de junho 2022.

ANEPAC – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção. Indústria Brasileira de Agregados. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/grupos-de-trabalho/56a-legislatura/gt-codigo-de-mineracao-decreto-lei-227-67/apresentacoes-em-eventos/ANEPAC.pdf>. Acesso em: 17 de junho 2023.

ANGULO, Sergio. Apresentação em ppt no Encontro Nacional de Usinas de RCD, 2023.

ARUP. **The Circular Economy in the Built Environment**. 2016. Disponível em: <<https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/circular-economy-in-the-built-environment>> Acesso em: 20 mar. 2019.

ARUP; EMF - Ellen MacArthur Foundation. **From Principles to Practices: First Steps Towards a Circular Built Environment**. 2018. Disponível em: <<https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/first-steps-towards-a-circular-built-environment>> Acesso em: 15 maio 2023.

AZEVEDO, Juliana Laboissiere de. **A Economia Circular Aplicada no Brasil: Uma Análise a partir dos Instrumentos Legais Existentes para a Logística Reversa**. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 11., 2015. Rio de Janeiro.

BALDASSARRE, B.; SCHEPERS, M.; BOCKEN, N.; CUPPEN, E.; KREVAAR, G.; CALABRETTA, G. Industrial symbiosis: Towards a design process for eco-industrial clusters by integrating circular economy and industrial ecology perspectives. *Journal of Cleaner Production*. (10 abril de 2019), volume 216, páginas 446–460.

BAMB - Building as Materials Banks. About BAMB. **c2020 ou s/d**. Disponível em: <<https://www.bamb2020.eu/about-bamb/>> Acesso em: 20 de maio de 2023.

BRASIL, Resolução CONAMA nº 348 de 17 de agosto de 2004. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res04/res34804.xml>>. Acesso em: 20 maio 2023.

BRASIL, Resolução CONAMA nº 431 de 25 de maio de 2011c. Altera o art. 3º da Resolução no 307/2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=649>>. Acesso em: 20 maio 2023.

BRASIL, Resolução CONAMA nº 448 de 19 de janeiro de 2012. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=672>>. Acesso em: 20 maio 2023.

BRASIL, Resolução CONAMA nº 469 de 29 de julho de 2015c. **Altera a Resolução CONAMA no 307, de 05 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.** Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=714>>. Acesso em: 20 maio 2023.

BRASIL. Lei nº 12.305/10 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, Brasília, 2010.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 307 de 5 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da Construção Civil.** Disponível em: <[http://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=30](http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=30)> Acesso em: 20 maio 2023.

BRAUNGART, Michael; MCDONOUGH, William. Cradle to Cradle: Remaking the Way we Make Things. First edition. In.: **New York: North Point Press, 2002.**

**CBIC - CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2021.**

CCDR LTV - COMISSÃO DE COORDENAÇÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL DE LISBOA E VALE DO TEJO. In.: **Economia Circular no Setor da Construção Civil I - Ciclo dos Materiais, 2019.** Disponível em: <[https://run.unl.pt/bitstream/10362/95512/1/Economia\\_Circular\\_Setor\\_Construcao\\_Civil\\_I.pdf](https://run.unl.pt/bitstream/10362/95512/1/Economia_Circular_Setor_Construcao_Civil_I.pdf)> Acesso em: 10 maio 2023.

CHERTOW, M. R. Industrial symbiosis: literature and taxonomy. In.: **Annual Review of Energy and the Environment, v. 25, n. 1, p. 313-337, 2000.**

DEMOLINER, C.A.; POSSAN, E. Estudo da Cadeia de Suplementos da Future Reciclagem Inteligente: Relatório de Pesquisa. 2018. (acesso restrito).

FATH, B.; FISCUS, D.; GOERNER, S; BEREA, A; & ULANOWICZ, R. (2019). Measuring Regenerative Economics: 10 principles and measures undergirding systemic economic health. In.: **Global Transitions** 1 15-27. 10.1016/j.glt.2019.02.002.

Freeman, R. E. Strategic management: A stakeholder approach. Boston: Harper Collins, 1984.

GEJER, Léa; TENNENBAUM, Carla. **Ideia Circular, 2018. Construção Civil Está a Caminho da Economia Circular.** Disponível em <<https://ideiacircular.com/construcao-civil-esta-a-caminho-da-economia-circular/#:~:text=A%20economia%20circular%20aplicada%20%C3%A0,os%20quais%20compartilham%20alguns%20servi%C3%A7os.>>. Acesso em 11 maio 2023.

GEJER, Léa; TENNENBAUM, Carla. **Ideia Circular, c2023. O que é Cradle to Cradle?** Disponível em <<https://ideiacircular.com/o-que-e-cradle-to-cradle/>>. Acesso em: 11 maio 2023.

GINGA, P.C.; ONGPENG, J.M.C.; DALY, M.K.M. Circular Economy on Construction and Demolition Waste: A Literature Review on Material Recovery and Production. In.: **MDPI Open Access Journals**.2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/ma13132970>>. Acesso em: 11 maio 2023.

HAO, YY., KANG, J. **Current situation and potentials of construction waste minimization by design, a comparative survey between China and UK, building science**, 2010(6):4 9. Disponível em: <<https://sinir.gov.br/relatorios/nacional/>>. Acesso em 11 maio 2023.

SMART WASTE PORTUGAL. Construção Circular. Criar uma Industria de Construção Circular. In.: **Smart Waste Portugal.** Disponível em: <<https://smartwasteportugal.com/construcao-circular/>>. Acesso em: 11 maio 2023.

HUANG, B.; WANG, X.; KUA, H.; GENG, Y.; BLEISCHWITZ, R. Construction and demolition waste management in China through the 3R principle. In.: **Resour. Conserv. Recycl.** 2018, 129, 36–44.

KALMYKOVA, Y; SADAGOPAN, M.; ROSADO, L. Circular economy - From review of theories and practices to development of implementation tools. In.: **Resour. Conserv. Recycl.** 2018. 135, 190–201.

KAVAS, Merlo Cintia. **A Construção Civil, a Construção Sustentável e a Educação Socioambiental: um Estudo de Caso de Aplicações nas Habitações de Interesses Sociais.** 2011. Monografia (Especialização em Educação, Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, 2011.

Kirchherr, J.; Reike, D.; Hekkert, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. In.: **Resour. Conserv. Recycl.** 2017, 127, 221–232].

Lederer, J.; Gassner, A.; Kleemann, F.; Fellner, J. Potentials for a circular economy of mineral construction materials and demolition waste in urban areas: A case study from Vienna. In.: **Resour. Conserv. Recycl.** 2020, 161, 104942.

LIMA, B. F.; ALBERTE, E. P. V.; CARNEIRO, A. P. Economia circular aplicada à construção: análise sobre os processos de um canteiro de obras. In.: **Simpósio Brasileiro De Gestão E Economia Da Construção**, 12., 2021, Maceió. Anais[...] Porto Alegre: ANTAC, 2021. p.1-8. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sibragec/article/view/451>. Acesso em: 20 de maio 2023.

MATIAS, Alessandra Natiele. **Resíduos de construção e demolição à luz da Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 2020. 204 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2020.

NAGALLI, André. Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Construção Civil. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

OMETTO, A.L; PONTES, A.C.; MUSETTI, M. A.; SILVA, T.G.E. Economia Circular: Um Panorama do Estado da Arte das Políticas Públicas no Brasil. In.:**Revista Produção Online**. Florianópolis, SC, v. 21, n. 3, p. 951-972, 2021.

PAZ C.F.; BIELA, R.; PUNHAGUI, K.R.G; POSSAN, E. Life Cycle Inventory of Recycled Aggregates Delivered from Construction and Demolition Waste. In.: **Journal of Material Cycles and Wast Management**. Acesso em: 10 maio 2023.

PAZ, Fachinetto Candida. **Inventário do Ciclo de vida aplicado à produção de agregados a partir de resíduos de construção e demolição**. 2020. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologias.

Ruiz, L.; Ramón, X.; Domingo, S. The circular economy in the construction and demolition waste sector— A review and an integrative model approach. In.: **Journal of Cleaner Production**. 2020, 248, 119238.

SCHUSTER B.S; JUNIOR, L.R.T. Práticas Aplicadas No Canteiro De Obras Que Contribuem Para A Gestão Sustentável Dos Resíduos Da Construção Civil. In.: **Gest. sust. ambient.**, Florianópolis, v. 9, n. esp, p. 781-799, fev. 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v9e02020781-799>>. Acesso em: 12 maio 2023.

Silva, R.V.; de Brito, J.; Dhir, R.K. Availability and processing of recycled aggregates within the construction and demolition supply chain: A review. **Journal of Cleaner Production**, 2017, 143, 598–614.

SOUZA, G.P; BALDIN, G.B.; MELO, L.P.; DA SILVA, M.; SCARPIN, N.S; PINHEIRO, A.L. **Economia Circular de Resíduos Classe A da Construção Civil em sua Cadeia Produtiva**. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM), São Paulo, 2020.

Souza, U. E. L.; Paliari, J. C.; Agopyan, V.; Andrade, A. C. Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma

abordagem progressiva. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 33-46, dezembro 2004.

STAHEL, W.R. The circular economy. *Nature*. 2016. 531, 435–438.

VALVERDE, F.M. O novo Normal na Indústria de Agregados. **Revista Areia e Brita (ANEPAC)**, São Paulo, ed. 76, p. 15 – 17, dezembro de 2022.

VILLORIA SÁEZ, P, OSMANI, M. A diagnosis of construction and demolition waste generation and recovery practice in the European Union. In.: **Journal of Cleaner Production** (In Press, available online), 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118400.

WEBSTER, Ken. A Circular Economy is About the Economy. **Circular Economy and Sustainability**. 2021, 127, 115–126].

WEF - WORLD ECONOMIC FORUM. Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology, 2016. In.: **World Economic Forum**. Disponível em: <[https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Shaping\\_the\\_Future\\_of\\_Construction\\_full\\_report\\_.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Shaping_the_Future_of_Construction_full_report_.pdf)> Acesso em: 10 março 2023.

WOBETO, Juliana Leão. **Benefícios para Empresas, Sociedade e Meio Ambiente Advindos da Implantação do Modelo de Economia Circular**. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2020.

## **APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO (SURVEY) ENVIADO PARA GESTORES/PROPRIETÁRIOS DE CENTRAIS DE RECICLAGEM DE RCD.**

**O questionário contém 18 perguntas com tempo de resposta de 5 minutos. Gostaríamos muito de ouvir a sua opinião!**

O questionário a seguir tem como objetivo coletar informações de gestores/proprietários de centrais de reciclagem de RCD, que darão suporte e fonte de dados comparativos para o trabalho de conclusão de curso (TCC), da discente Ornella Veronica Tonelli Maia, matriculada no curso de Engenharia Civil de Infraestrutura (ECI) da Universidade Federal da Integração Latino Americana (UNILA, Foz do Iguaçu, PR), sob orientação da professora Dra. Edna Possan.

Ressalta-se que os participantes/respondentes, bem como as empresas participantes da pesquisa, serão mantidos no anonimato, sendo as informações destinadas exclusivamente para fins acadêmicos.

A pesquisa desenvolvida para este estudo tem o objetivo de avaliar a circularidade no processo de produção de agregados construtivos de RCD em uma central de processamento, considerando a influência de fatores externos, tais como: clima, políticas públicas, mercado da construção civil na região e eventos adversos.

Em caso de dúvidas, fica à disposição para contato o seguinte e-mail: ornella.maia@aluno.unila.edu.br. Por gentileza, no assunto do e-mail coloquem "RCD" para facilitar e agilizar a identificação e respostas dos mesmos.

### **SEÇÃO 1 - PERFIL DO RESPONDENTE**

1. Nome
2. Cidade e estado
3. Cargo/função que exerce na empresa

### **SEÇÃO 2 - DADOS DA EMPRESA**

1. Ano de início das atividades da empresa
2. Em qual das opções abaixo a empresa se enquadra:
  - Privada
  - Pública
  - Pública-privada
3. Quantidade média do recebimento de RCD no ano de 2022  
(indicar o volume em m<sup>3</sup>)
4. De quem sua empresa recebe o RCD
  - Construtores autônomos (CPF)
  - Empresas privadas (CNPJ)
  - Município (empresas públicas)
  - De serviços executados pela própria empresa (ex: demolição, escavações, terraplanagem, etc)
5. Sua empresa realiza a oferta de outros serviços, tais como:
  - Aluguel de caçambas
  - Aluguel de equipamentos
  - Demolição

- Terraplanagem
  - Não oferta outros serviços
6. A sua empresa fornece informações aos geradores sobre a necessidade de separação dos resíduos no canteiro de obras? (exemplo: resíduos que podem e os que não podem ser reciclados)
- Sempre fornecemos informações aos geradores
  - Às vezes fornecemos informações aos geradores
  - Não fornecemos informações aos geradores

### **SEÇÃO 3 – PRODUTIVIDADE**

1. Em uma escala de 5 pontos, indique qual o grau de influência de cada um dos fatores na produção de agregado reciclado em sua empresa (1 influencia pouco - 5 influencia muito):

- Clima (períodos de pouca ou muita chuva)
- Falta de consumidores de agregado reciclado
- Falta de resíduo (matéria-prima)
- Legislações vigentes
- Material que chega até a central contaminado com resíduos de outras classes (que não podem ser reciclados)

2. Coloque em ordem de importância os fatores que influenciam na produção de agregado reciclado em sua empresa. Considere (1) maior influência e (6) menor influência. (observação: não marcar o mesmo número mais de uma vez).

- Clima (períodos de pouca ou muita chuva)
- Falta de consumidores de agregado reciclado
- Falta de resíduo (matéria-prima)
- Legislações vigentes
- Material que chega até a central contaminado com resíduos de outras classes (que não podem ser reciclados)
- Mercado da construção civil (alta/baixa das atividades no setor)

Espaço para comentários adicionais e que colaborem com a pesquisa

**APÊNDICE B – TABULAÇÃO DAS RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO (SURVEY)  
ENVIADO PARA GESTORES/PROPRIETÁRIOS DE CENTRAIS DE RECICLAGEM  
DE RCD.**

RESPOSTAS	PERFIL DO RESPONDENTE			
	cidade	estado	região	cargo/função
1	Juiz de Fora	MG	sudeste	Diretor
2	Brasília	DF	centro-oeste	ADM
3	Santo André	SP	sudeste	Analista Ambiental
4	Araraquara	SP	sudeste	ADM
5	SP	SP	sudeste	Líder de unidade
6	Sertãozinho	SP	sudeste	Engenheiro
7	Forquilha	SC	sul	Gerente de Operação
8	São Leopoldo	RS	sul	Diretor
9	Recife	PE	nordeste	Engenheira/Proprietária
10	São José de Mipibu	RN	nordeste	Analista de Logística
11	Itajaí	SC	sul	ADM
12	Paulínia	SP	sudeste	ADM
13	SP	SP	sudeste	Gerente Geral

RESPOSTAS	DADOS DA EMPRESA		
	Ano de início das ativ.	Tipo	Média de RCD recebido em 2022 (m³)
1	2020	privada	8.300
2	2017	privada	4.700
3	2019	privada	3.300
4	2005	privada	3.200
5	2016	privada	6.700
6	1987	privada	3.000
7	2021	privada	1.600
8	2012	privada	11.000
9	2016	privada	15.800
10	2011	privada	4.250
11	2021	privada	5.000
12	2021	privada	7.000
13	2007	privada	11.951

RESPOSTAS	DADOS DA EMPRESA		
	Ano de início das ativ.	Tipo	Média de RCD recebido em 2022 (m³)
1	2020	privada	8.300
2	2017	privada	4.700
3	2019	privada	3.300
4	2005	privada	3.200
5	2016	privada	6.700
6	1987	privada	3.000
7	2021	privada	1.600
8	2012	privada	11.000
9	2016	privada	15.800
10	2011	privada	4.250
11	2021	privada	5.000
12	2021	privada	7.000
13	2007	privada	11.951

RESPOSTAS	DADOS DA EMPRESA
	De quem a sua empresa recebe o RCD?
1	construtores autônomos (CPF), empresas privadas (CNPJ) e município
2	construtores autônomos (CPF), empresas privadas (CNPJ), município e serviços executados pela própria empresa (ex: demolição, escavações, terraplanagem, etc).
3	construtores autônomos (CPF), empresas privadas (CNPJ), município e serviços executados pela própria empresa (ex: demolição, escavações, terraplanagem, etc).
4	construtores autônomos (CPF) e empresas privadas (CNPJ)
5	empresas privadas (CNPJ)
6	município (empresa pública) e de serviços executados pela própria empresa (ex: demolição, escavações, terraplanagem, etc).
7	empresas privadas (CNPJ) e de serviços executados pela própria empresa (ex: demolição, escavações, terraplanagem, etc).
8	construtores autônomos (CPF), empresas privadas (CNPJ) e município
9	construtores autônomos (CPF), empresas privadas (CNPJ) e serviços executados pela própria empresa (ex: demolição, escavações, terraplanagem, etc).
10	construtores autônomos (CPF), empresas privadas (CNPJ), município e serviços executados pela própria empresa (ex: demolição, escavações, terraplanagem, etc).
11	empresas privadas.
12	construtores autônomos (CPF), empresas privadas (CNPJ), município e serviços executados pela própria empresa (ex: demolição, escavações, terraplanagem, etc).
13	construtores autônomos (CPF), empresas privadas (CNPJ) e município

RESPOSTAS	DADOS DA EMPRESA
	Sua empresa realiza a oferta de outros serviços, tais como:
1	não oferta outros serviços.
2	aluguel de caçambas, aluguel de equipamentos, demolição e terraplanagem.
3	aluguel de caçambas.
4	terraplanagem
5	não oferta outros serviços.
6	não oferta outros serviços.
7	demolição e terraplanagem.
8	aluguel de caçambas, aluguel de equipamentos, demolição e terraplanagem.
9	aluguel de caçambas, demolição e terraplanagem
10	aluguel de caçambas, aluguel de equipamentos, demolição e terraplanagem.
11	aluguel de caçambas
12	não oferta outros serviços.
13	não oferta outros serviços.

RESPOSTAS	DADOS DA EMPRESA
	Sua empresa fornece informação aos geradores sobre a necessidade de separação dos resíduos no canteiro de obras? (exemplo: resíduos que podem e os que não podem ser reciclados).
1	As vezes fornecemos informação aos geradores.
2	Sempre fornecemos informação aos geradores.
3	Sempre fornecemos informação aos geradores.
4	Sempre fornecemos informação aos geradores.
5	As vezes fornecemos informação aos geradores.
6	Sempre fornecemos informação aos geradores.
7	Sempre fornecemos informação aos geradores.
8	Sempre fornecemos informação aos geradores.
9	Sempre fornecemos informação aos geradores.
10	Sempre fornecemos informação aos geradores.
11	Sempre fornecemos informação aos geradores.
12	Sempre fornecemos informação aos geradores.
13	Sempre fornecemos informação aos geradores.

FATORES	Em uma escala de 5 pontos, indique qual o grau de influência de cada um dos fatores na produção de AR em sua empresa (1 influencia - 5 influencia muito).												
	RESPOSTAS												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Clima (períodos de pouca ou muita chuva)	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5
Falta de consumidores de agregado reciclado	5	4	5	5	3	5	1	4	4	3	3	3	4
Falta de resíduos (matéria-prima)	5	5	5	1	5	1	3	2	1	5	3	5	4
Legislações vigentes	5	4	2	5	1	3	3	4	5	5	3	4	2
Material que chega até a central contaminado com resíduos de outras classes (não podem ser reciclados)	5	3	3	5	5	5	4	5	5	5	5	3	4
Mercado da Construção Civil (alta/baixa das atividades no setor)	5	3	5	5	3	2	4	3	5	5	3	5	4

FATORES	Coloque em ordem de importância, os fatores que influenciam na produção de agregado reciclado em sua empresa. Considere (1) maior influência e (6) menor influência.												
	RESPOSTAS												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Clima (períodos de pouca ou muita chuva)	1	1	1	1	5	1	1	6	1	1	2	4	6
Falta de consumidores de agregado reciclado	1	1	2	1	4	1	6	4	2	1	3	6	3
Falta de resíduos (matéria-prima)	1	1	4	5	6	6	3	2	4	1	1	2	3
Legislações vigentes	1	6	6	1	1	3	4	4	3	1	3	3	5
Material que chega até a central contaminado com resíduos de outras classes (não podem ser reciclados)	2	3	5	2	2	2	2	6	5	1	1	4	3
Mercado da Construção Civil (alta/baixa das atividades no setor)	1	1	3	2	3	2	5	3	6	1	3	1	6

### APÊNDICE C – FLUXO ANUAL DE MATÉRIA-PRIMA EM OITO ANOS DE PRODUÇÃO FABRIL.

Fluxo anual de matéria-prima							
Ano	Dado Característico	Volume de RCD (m³)		Classe A		Outras Classes	
		Total	Médio diário	(m³)	(%)	(m³)	(%)
2015	<b>Máximo</b>	3673	175	3642	100	203	16
	<b>Mínimo</b>	1148	82	964	84	0	0
	<b>Média</b>	2323	117	2196	93	127	7
	<b>Mediana</b>	2418	115	2246	93	172	7
	<b>Desvio Padrão</b>	903	34	972	6	88	6
2016	<b>Máximo</b>	2887	132	2378	85	509	34
	<b>Mínimo</b>	1019	56	780	66	221	15
	<b>Média</b>	1603	83	1263	78	340	22
	<b>Mediana</b>	1324	71	1028	79	352	21
	<b>Desvio Padrão</b>	636	29	565	5	97	5
2017	<b>Máximo</b>	2746	125	2107	84	732	27
	<b>Mínimo</b>	1668	79	1334	73	272	16
	<b>Média</b>	2204	107	1758	80	446	20
	<b>Mediana</b>	2211	114	1777	80	447	20
	<b>Desvio Padrão</b>	352	17	265	3	127	3
2018	<b>Máximo</b>	3278	169	2676	88	624	23
	<b>Mínimo</b>	2034	93	1696	77	249	12
	<b>Média</b>	2631	130	2159	82	472	18
	<b>Mediana</b>	2554	123	2172	82	502	18
	<b>Desvio Padrão</b>	424	25	342	3	119	3
2019	<b>Máximo</b>	4242	193	3433	85	809	22
	<b>Mínimo</b>	2121	125	1782	78	339	15
	<b>Média</b>	3229	156	2636	82	593	18
	<b>Mediana</b>	3317	156	2707	82	595	18
	<b>Desvio Padrão</b>	616	19	504	2	132	2
2020	<b>Máximo</b>	3510	157	3081	89	765	25
	<b>Mínimo</b>	1963	95	1497	75	285	11
	<b>Média</b>	2616	130	2154	82	461	18
	<b>Mediana</b>	2608	127	2132	83	427	17
	<b>Desvio Padrão</b>	462	21	430	5	137	5
2021	<b>Máximo</b>	3760	179	3068	85	692	23
	<b>Mínimo</b>	1556	92	1284	77	272	15
	<b>Média</b>	2874	148	2330	81	544	19
	<b>Mediana</b>	2928	153	2381	81	600	19
	<b>Desvio Padrão</b>	638	27	535	2	128	2
2022	<b>Máximo</b>	5499	250	4835	88	961	33
	<b>Mínimo</b>	1554	74	1181	67	373	12
	<b>Média</b>	3148	152	2541	79	607	21
	<b>Mediana</b>	3299	147	2500	79	581	21
	<b>Desvio Padrão</b>	1150	47	1073	6	188	6