

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO

Maysa Jéssica Guedes de Oliveira

A Economia Circular como Ferramenta para Cidades Inteligentes: estudo de
viabilidade da Reciclagem de Resíduos da Construção Civil

Juiz de Fora
2025

Maysa Jéssica Guedes de Oliveira

**A Economia Circular como Ferramenta para Cidades Inteligentes: estudo de
viabilidade da Reciclagem de Resíduos da Construção Civil**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído (PROAC) da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído. Área de concentração: Ambiente Construído.

Orientador: Dr. Leonardo Rocha Olivi

Coorientador: Dr. Exuperry Barros Costa

Juiz de Fora

2025

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Guedes de Oliveira, Maysa Jéssica .

A Economia Circular como Ferramenta para Cidades Inteligentes: estudo de viabilidade da Reciclagem de Resíduos da Construção Civil / Maysa Jéssica Guedes de Oliveira. -- 2025.

111 p. : il.

Orientador: Leonardo Rocha Olivi

Coorientador: . Exuperry Barros Costa

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, 2025.

1. Análise de Viabilidade Econômica. 2. Resíduos da Construção Civil. 3. Usinas de Reciclagem. 4. Cidades inteligentes. I. Rocha Olivi, Leonardo , orient. II. Barros Costa, . Exuperry , coorient. III. Título.

Maysa Jéssica Guedes de Oliveira

A Economia Circular como Ferramenta para Cidades Inteligentes: estudo de viabilidade da Reciclagem de Resíduos da Construção Civil

Dissertação apresentada ao PPG Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído. Área de concentração: Ambiente Construído

Aprovada em 19 de novembro de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof Dr Leonardo Rocha Olivi - Orientador

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof Dr Exuperry Barros Costa - Coorientador

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof(a) Dr(a) Tatiana Tavares Rodrigues - Membro Interno

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof(a) Dr(a) Isabela Stiegert - Membro Externo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe

Juiz de Fora, 11/11/2025.



Documento assinado eletronicamente por **Leonardo Rocha Olivi, Professor(a)**, em 19/11/2025, às 20:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Exuperry Barros Costa, Professor(a)**, em 19/11/2025, às 20:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Tatiana Tavares Rodriguez, Professor(a)**, em 19/11/2025, às 20:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Isabela Stiegert, Usuário Externo**, em 19/11/2025, às 20:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **2736718** e o código CRC **75ED5B79**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus que me guia e ilumina a minha caminhada diariamente.

Aos meus pais e ao meu namorado, que sempre acreditaram no meu potencial, mesmo nos momentos em que eu mesma duvidei. O amor, o apoio e os ensinamentos que recebi ao longo da vida foram fundamentais para que eu pudesse trilhar este caminho.

Aos amigos que estiveram ao meu lado, dedico este trabalho como reconhecimento pelo incentivo e pelas palavras de ânimo nos dias difíceis. O companheirismo de cada um foi essencial para que eu pudesse seguir firme e determinada.

Agradeço aos professores e mestres que marcaram minha trajetória, oferecendo não apenas conhecimento, mas também inspiração. Cada orientação recebida foi um pilar na construção deste estudo e no desenvolvimento da minha visão crítica e profissional.

Aos colegas de jornada acadêmica, que compartilharam desafios, conquistas e aprendizados, dedico este trabalho como símbolo da importância da troca de experiências e da união em busca de objetivos comuns.

Por fim, agradeço a todos aqueles que acreditam na transformação por meio da educação, da ciência e da sustentabilidade. Que este esforço não represente apenas uma conquista individual, mas que possa inspirar outros a seguir pelo caminho do conhecimento e do comprometimento com um mundo melhor.

RESUMO

Este estudo teve por objetivo analisar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da reciclagem de resíduos da construção civil (RCC), que gera muitas perdas e desperdícios de insumos materiais, os quais são descartados no meio ambiente. Para reduzir a quantidade de RCC gerados em canteiros de obras, uma das alternativas é produzir agregados reciclados a partir do processamento desses resíduos em usinas de reciclagem. O estudo baseia-se em uma perspectiva da economia circular, que deve ser aplicada como ferramenta estratégica em busca de se evitar o descarte de resíduos e proporcionar o desenvolvimento de cidades inteligentes e sustentáveis. As Resoluções CONAMA e a NBR 15.114 apontam diretrizes para a correta destinação dos resíduos e para a atividade da reciclagem de RCC, para que não haja disposição ilegal desses materiais e, assim, evite-se o aumento da demanda por áreas de aterros de RCC. Analisou-se no estudo a viabilidade econômica para a implantação e operação de uma usina de reciclagem de RCC classe A, de uma construtora de pequeno porte da cidade de Juiz de Fora - MG. Para isso, realizou-se um levantamento bibliográfico em busca de conhecer autores que tratam do tema para respaldar teoricamente o estudo. O método utilizado foi caráter exploratório e descritivo. Em seguida, foram propostos critérios de viabilidade técnica, econômica e ambiental, estruturando-se um modelo replicável. Por fim, avaliou-se a possibilidade de implantação de uma usina privada de pequeno porte da Construtora A em canteiro de obras, consolidando a aplicabilidade do modelo. Os indicadores utilizados na análise de viabilidade financeira compreenderam o Valor Presente Líquido (VPL), o *Payback* simples, o *Payback* descontado, o Índice de Benefício-Custo (IBC) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). Conclui-se que a implantação de usinas de reciclagem em canteiros de obras apresenta-se como técnica e financeiramente viável, desde que acompanhada por políticas públicas municipais e incentivos fiscais capazes de fortalecer o mercado de agregados reciclados e assegurar sua adoção em larga escala.

Palavras-chave: Análise de Viabilidade Econômica. Resíduos da Construção Civil. Usinas de Reciclagem. Cidades inteligentes.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the technical, economic, and environmental feasibility of recycling construction and demolition waste (CDW), which generates significant material losses and waste that are often discarded into the environment. To reduce the amount of CDW produced on construction sites, one alternative is the production of recycled aggregates through the processing of this waste in recycling plants. The study is based on the perspective of the circular economy, applied as a strategic tool to prevent waste disposal and promote the development of smart and sustainable cities. The CONAMA Resolutions and NBR 15.114 provide guidelines for the proper disposal of waste and the recycling activity of CDW, ensuring that these materials are not illegally disposed of and preventing the increased demand for landfill areas. The study analyzed the economic feasibility of implementing and operating a Class A CDW recycling plant for a small construction company in the city of Juiz de Fora, MG. To this end, a bibliographic review was carried out to identify authors addressing the topic and provide theoretical support for the research. The methodological approach was exploratory and descriptive, developed in six stages: bibliographic and documentary review, technical-operational diagnosis of the public recycling plant in Juiz de Fora, description of the production process, critical analysis of inefficiencies, proposal of technical, economic, and environmental feasibility criteria, and the structuring of a replicable model. Finally, the feasibility of implementing a small private recycling plant on the construction site of Company A was evaluated, consolidating the model's applicability. The financial feasibility analysis for a small plant (60 m³/month) indicated a Net Present Value (NPV) of R\$ 337,232.87 over 10 years, with a payback period of 1 year and 3 months (discounted payback) and 1 year and 8 months (simple payback). The Benefit-Cost Ratio (BCR) was 1.97, and the Internal Rate of Return (IRR) reached 80.8%, further confirming the economic feasibility of the project. It is concluded that the implementation of recycling plants on construction sites is technically and financially feasible but requires municipal public policies and tax incentives to strengthen the recycled aggregate market and ensure its large-scale adoption.

Keywords: Economic Feasibility Analysis. Construction and Demolition Waste. Recycling Plants. Smart Cities.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo de Geração de Resíduos.....	21
Tabela 2 - Pilares para a construção de uma cidade inteligente.	27
Tabela 3 - Legislação e Normas Principais.	42
Tabela 4 - Investimento na usina de reciclagem de RCC.....	65
Tabela 5 - Comparação dos valores de Agregado Reciclado e Natural.....	78
Tabela 6 - Custo com a implantação.....	88
Tabela 7 - Fluxo de caixa projetado.....	90
Tabela 8 - Fluxos de Caixa Anuais.....	91
Tabela 9 - Cálculo de IBC.....	93
Tabela 10 - <i>Payback</i> Simples (sem desconto).....	94
Tabela 11 - <i>Payback</i> Descontado.....	95
Tabela 12 - Análise dos métodos de avaliação.....	96
Tabela 13 - Produção de Agregados Reciclados.....	97
Tabela 14 - Indicadores-Chave de Desempenho (KPIs) da Usina de Reciclagem de RCC – Juiz de Fora.....	100
Tabela 15 - Comparativo de Custo-Benefício: Aterro vs. Usina de Reciclagem de RCC.....	102
Tabela 16 - Redução de Impactos Ambientais da Usina da Construtora A.....	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Economia Circular.....	25
Figura 2 - Linha do Tempo da Legislação e Políticas Públicas Relacionadas aos Resíduos da Construção Civil (RCC).	46
Figura 3 - Mapa da Localização da Usina de RCC.....	51
Figura 4 - Geração de resíduos sólidos no território de Juiz de Fora (milhares t/ano).	57
Figura 5 - Britador.....	66
Figura 6 - Peneiras vibratórias e separadores.....	67
Figura 7 - Fluxo de produção.....	86
Figura 8 - Croqui da instalação.	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição
BCR	Benefit-Cost Ratio (Índice Benefício-Custo)
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTR	Centro de Tratamento de Resíduos
DEMLURB	Departamento de Limpeza Urbana
EC	Economia Circular
IBC	Índice Benefício-Custo
IBCE	Instituto Brasileiro de Construção Sustentável
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IRR	Internal Rate of Return (Taxa Interna de Retorno)
KPIs	Key Performance Indicators (Indicadores-chave de Desempenho)
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NPV	Net Present Value (Valor Presente Líquido)
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PBPQH	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
PEA	População Economicamente Ativa
PGRSCC	Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Construção Civil
PIB	Produto Interno Bruto
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCC	Resíduos da Construção Civil
RCC	Resíduos de Construção e Demolição
RJ	Rio de Janeiro
TIR	Taxa Interna de Retorno
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
URE	Unidade de Reciclagem de Entulho
USIBEN	Usina de Beneficiamento de Resíduos da Construção Civil
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS.....	12
3. METODOLOGIA	12
3.1 TIPO DE PESQUISA E ABORDAGEM	12
3.2 DELINEAMENTO DO ESTUDO DE CASO	13
3.3 VARIÁVEIS, DADOS E FONTES	13
3.3.1. VARIÁVEIS TÉCNICAS.....	13
3.3.2. VARIÁVEIS ECONÔMICAS.....	13
3.3.3. VARIÁVEIS AMBIENTAIS.....	14
3.3.4. FONTES DE DADOS.....	14
3.4. PROCEDIMENTOS E ETAPAS	14
3.5. MODELO DE ANÁLISE DE VIABILIDADE	14
3.5.1. INDICADORES DE DECISÃO.....	14
3.5.2. KPIs AMBIENTAIS	17
3.6. PREMISSAS, INCERTEZAS E ESCOPO DOS RESULTADOS	17
3.7. ASPECTOS ÉTICOS, SIGILO E LIMITAÇÕES	17
4REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
4.1PANORAMA DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E RCC NO BRASIL	18
4.2ESTRATÉGIAS DE GESTÃO, RECICLAGEM E VALORIZAÇÃO DOS RCC NO BRASIL	22
4.3ECONOMIA CIRCULAR APLICADA À CONSTRUÇÃO CIVIL	25
4.3.1CIDADES INTELIGENTES: CONCEITOS, CARACTERÍSTICAS E EXEMPLOS INTERNACIONAIS	28
4.3.2INTEGRAÇÃO ENTRE ECONOMIA CIRCULAR, INTELIGÊNCIA URBANA E GESTÃO DE RCC	33
4.4LEGISLAÇÃO E DIRETRIZES BRASILEIRAS	38
4.5RECICLAGEM DE RCC.....	44
4.6CARACTERIZAÇÃO TÉCNICA DA USINA PÚBLICA DE JUIZ DE FORA.....	46
4.6.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA USINA DE RECICLAGEM	65
4.7 CARACTERÍSTICAS E DESAFIOS DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	69
4.8 INDICADORES DE VIABILIDADE	72
4.8.1 COMPARATIVO DE CUSTO-BENEFÍCIO	77
4.8.2 INDICADORES AMBIENTAIS E URBANOS	78
4.9 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E IMPACTOS AMBIENTAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	80
5. RESULTADOS.....	85
5.1 CÁLCULO DOS INDICADORES DE ANÁLISE DE VIABILIDADE	89
5.2 ANÁLISE DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO	96
5.3 PRODUÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS.....	97
5.4 INDICADORES-CHAVE DE DESEMPENHO (KPIs)	99
5.5 INDICADORES DE CUSTO-BENEFÍCIO.....	100
5.6 INDICADORES AMBIENTAIS E URBANOS.....	103
6. CONCLUSÃO	105
7. REFERÊNCIAS	106
ANEXO – Consentimento para uso de dados.....	110

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos de construção civil (RCC) representam uma das maiores frações dos resíduos sólidos urbanos no Brasil e são, frequentemente, descartados de forma inadequada, o que causa impactos significativos ao meio ambiente. Sua decomposição é extremamente lenta, afeta o solo, compromete áreas urbanas e contribui para enchentes, poluição visual e degradação ambiental (Santos; Lima, 2023).

Os RCC representam entre 50% e 70% da massa total de resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil (Brasil, 2024a). Em 2023, o país produziu cerca de 44 milhões de toneladas de RCC, sendo que apenas 16% desse volume foi reciclado (Brasil, 2024a; Brasil, 2024b), o que revela um baixo aproveitamento e grandes impactos ambientais.

Esse cenário nacional encontra paralelo em diversas cidades brasileiras de médio porte. Municípios como Presidente Bernardes (SP), Três Pontas (MG) e Passo Fundo (RS) têm buscado alternativas para enfrentar o problema, como georreferenciamento de áreas críticas (Santos; Lima, 2023), implementação de coleta seletiva e elaboração de modelos computacionais de gestão integrada de resíduos (Gomes; Silva, 2010). Essas experiências demonstram que, embora o problema seja comum, existem caminhos viáveis para enfrentá-lo de maneira estratégica.

A indústria da construção civil, vetor fundamental para o desenvolvimento socioeconômico brasileiro, é também um dos setores que mais pressiona os ecossistemas urbanos. Anualmente, o país gera um volume massivo de resíduos, que em 2023 alcançou cerca de 44 milhões de toneladas, dos quais apenas uma fração mínima de 16% foi efetivamente reciclada (Gomes; Silva, 2010).

Este cenário de baixo aproveitamento não apenas sobrecarrega aterros sanitários e degrada o meio ambiente pelo descarte inadequado, mas também representa uma expressiva perda de materiais com potencial para reingresso na cadeia produtiva.

A reciclagem dos resíduos da construção civil é uma necessidade e o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) classificou os tipos de resíduos da construção e demolição a partir da Resolução 307/2002.

A adoção dos princípios da economia circular: redução, reutilização, reciclagem e valorização de recursos, surge como estratégia essencial, conciliando crescimento

econômico e preservação ambiental. Essa lógica se conecta ao conceito de cidades inteligentes, que priorizam o uso eficiente de recursos e políticas sustentáveis.

No caso de Juiz de Fora, localizada no estado de Minas Gerais, a situação não é diferente. A problemática é amplificada em contextos urbanos de médio porte, onde a rápida urbanização não tem sido acompanhada de políticas eficazes de reaproveitamento e reciclagem desses resíduos.

A cidade de Juiz de Fora possui características urbanas geográficas e produtivas representativas do cenário regional, com grande geração de resíduos.

O estudo aqui proposto já se justifica, inicialmente, embora o país disponha de legislações específicas, como a Resolução CONAMA 307/2002 e a Política Nacional de Resíduos Sólidos, ainda há escassez de estudos aplicados em construtoras de pequeno porte, que analisem a viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de usinas de reciclagem de RCC em seus canteiros de obras.

O tema deste estudo é relevante, pois os RCC são um grande desafio ambiental e urgente no Brasil, pois geram impactos negativos ao meio ambiente ao serem descartados de forma irregular em diversas áreas. Esse problema afeta a cidade de Juiz de Fora, que, de acordo com a PJF (2010), não possui um sistema de gerenciamento de RCC eficiente, pode ainda ser citado que não possui dados recentes. Há grande número de deposições irregulares realizadas por agentes irresponsáveis, que depositam o material em vários pontos da cidade.

Diante disso, pergunta-se: é tecnicamente, economicamente e ambientalmente viável que uma construtora local implante uma usina própria de reciclagem de resíduos da construção civil em seu canteiro de obras, de modo a reduzir custos operacionais, otimizar o reaproveitamento de materiais e fortalecer a sustentabilidade urbana?

2. OBJETIVOS

O objetivo geral do estudo é analisar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da reciclagem de resíduos da construção civil a partir da perspectiva da economia circular, em uma construtora de pequeno porte dentro de Juiz de Fora.

Os objetivos específicos são:

- a) Diagnosticar o panorama atual da geração e destinação dos resíduos da construção civil no contexto urbano na cidade de Juiz de Fora;
- b) Realizar a análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de uma usina de pequeno porte em canteiro de obras da Construtora A na cidade de Juiz de Fora, a partir da aplicação de indicadores de desempenho como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Índice Benefício-Custo (IBC) e *Payback*;
- c) Investigar a viabilidade técnica da implantação de uma usina de reciclagem de resíduos da construção civil de pequeno porte na Construtora A, localizada em Juiz de Fora, considerando seu potencial de reaproveitamento interno, redução de custos operacionais e contribuição para a sustentabilidade.

3. METODOLOGIA

Este capítulo descreve, de forma clara e transparente, como a pesquisa foi conduzida. O objetivo é permitir que qualquer leitor compreenda os passos adotados, as variáveis consideradas, as fontes de dados, os critérios de análise e o modo como as incertezas foram tratadas. A opção é por uma abordagem aplicada, voltada à tomada de decisão em Juiz de Fora.

3.1 TIPO DE PESQUISA E ABORDAGEM

A pesquisa é de natureza aplicada, com abordagem mista e desenho exploratório-descritivo. É aplicada porque visa gerar recomendações úteis para o município e para empresas do setor. É mista porque articula análise qualitativa de contexto, legislação e operação da usina pública, com modelagem quantitativa de viabilidade para uma usina privada de pequeno porte em canteiro. É exploratória-descritiva porque há escassez de modelos consolidados de arranjos público–privados de reciclagem de RCC no Brasil, o que exige descrever o funcionamento real, registrar gargalos e propor um caminho de análise replicável (Lüdke; André, 1986; Marconi; Lakatos, 2007).

3.2 DELINEAMENTO DO ESTUDO DE CASO

O estudo de caso concentra-se em Juiz de Fora – MG por três razões principais:

1. Infraestrutura existente: presença de usina pública de reciclagem na Zona Norte, equipamentos instalados e histórico de operações.
2. Escala do problema: geração expressiva de RCC em contexto urbano de médio porte, representativo do cenário brasileiro.
3. Janela de decisão: ambiente institucional com instrumentos legais, mas ainda com baixa integração entre triagem, reciclagem e uso de agregados reciclados.

A análise parte da observação do arranjo público e avança para um arranjo privado em canteiro de obras, em uma construtora de pequeno porte, aqui tratada como Construtora A.

3.3 VARIÁVEIS, DADOS E FONTES

Para dar transparência às decisões, apresentam-se as variáveis centrais e suas fontes.

3.3.1. VARIÁVEIS TÉCNICAS

- Geração média de RCC (t/dia) e composição por classes.
- Produtividade do sistema em canteiro (t/h) por etapa: recepção, triagem, britagem primária, britagem secundária e classificação.
- Taxa de contaminação e perdas de processo.
- Granulometrias de saída e potencial de uso do agregado reciclado.
- Consumo de energia para composição de OPEX e exigências de mão de obra.

3.3.2. VARIÁVEIS ECONÔMICAS

- CAPEX (investimentos iniciais): britador primário, britador secundário, peneira com três decks, correias, pá carregadeira, infraestrutura de apoio; impostos e frete.
- OPEX (despesas operacionais): energia elétrica ou diesel, manutenção, peças de desgaste, insumos, mão de obra (equipes por turno), EPIs, água de processo, despesas administrativas.
- Preços de mercado:
 - Preço de venda do agregado reciclado por fração (R\$/t).
 - Custo evitado com caçambas, transporte e taxa de destinação/aterro (R\$/viagem e R\$/t).

- Logística interna de movimentação no canteiro.

3.3.3. VARIÁVEIS AMBIENTAIS

- Indicadores de emissões evitadas pelo processo de reciclagem.
- Potencial de substituição de agregados naturais.
- Volume de resíduos desviados de aterro.

3.3.4. FONTES DE DADOS

- Dados cedidos pela empresa conforme Anexo X.

3.4. PROCEDIMENTOS E ETAPAS

O desenvolvimento seguiu a estruturação do modelo de viabilidade através de definição de premissas e construção do fluxo de caixa para uma usina privada de pequeno porte em canteiro da Construtora A; inclusão de CAPEX/OPEX, custos evitados e receitas do agregado reciclado; cálculo de VPL, TIR, IBC e *Payback*; definição de KPIs ambientais.

3.5. MODELO DE ANÁLISE DE VIABILIDADE

O modelo financeiro parte do fluxo de caixa anual da usina privada, incluindo benefícios por custos evitados.

- Receitas: venda de agregados reciclados por fração e por tonelada.
- Custos evitados: redução de gastos com caçambas, transporte e taxas de destinação, internalizados como benefício econômico direto.
- Despesas operacionais (OPEX): energia/diesel, manutenção, partes de desgaste, mão de obra, EPIs e apoios.
- Investimento (CAPEX): aquisição e instalação de equipamentos e ajustes de infraestrutura.

3.5.1. INDICADORES DE DECISÃO

O Valor Presente Líquido (VPL) permite mensurar a viabilidade de investimentos a partir da atualização dos fluxos de caixa futuros para o valor presente (Sobral, 2012).

No presente estudo, o VPL foi calculado com base na Soma do fluxo de caixa descontado projetada para a implantação da usina de reciclagem no canteiro de obras da Construtora A.

Adotou-se uma taxa de crescimento anual da receita fundamentada em premissas conservadoras, de modo a representar possíveis incrementos de demanda, reajustes de preços ou expansão da operação. Ressalta-se que tal estimativa está sujeita a variações decorrentes das condições de mercado e de diretrizes de políticas públicas. Apresenta-se a Equação 1 - Cálculo do Valor Presente Líquido:

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC}{(1+i)^t} - I$$

Onde:

- FC = fluxo de caixa líquido anual
- i = taxa de desconto (TMA)
- n = vida útil do projeto (anos)
- I = investimento inicial

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é um indicador financeiro que representa a taxa de desconto que zera o Valor Presente Líquido (VPL) de um projeto, ou seja, é a taxa na qual os fluxos de caixa futuros, descontados ao valor presente, igualam o investimento inicial (Sobral, 2012). Ela reflete a rentabilidade percentual anual esperada do empreendimento, permitindo comparar diferentes alternativas de investimento com base em seu retorno relativo.

Essa abordagem permite uma avaliação clara da atratividade econômica do projeto, considerando o momento do aporte inicial e a geração de retorno nos anos seguintes. Apresenta-se Equação 2 - Cálculo do Taxa Interna de Retorno:

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{FCt}{(1+i)^t}$$

Onde:

- FCt = fluxo de caixa no período t
- t = período
- i = taxa de desconto (TMA)
- n = vida útil do projeto (anos)
- I = investimento inicial

O Índice de Benefício-Custo (IBC) é um indicador que mede a relação entre os benefícios do projeto (fluxos de caixa descontados) e os custos iniciais (investimento), que ajuda a avaliar se um projeto é viável economicamente (Gomes, 2005). Apresenta-se a Equação 3 - Cálculo do Índice de Benefício de Custo:

$$IBC = \frac{\text{Valor Presente dos Benefícios (VPB)}}{\text{Investimento Inicial (Custo)}}$$

Onde:

- VPB = soma dos fluxos de caixa líquidos descontados (ou seja, o VPL + investimento inicial).
- Investimento Inicial = valor aplicado no início do projeto.

O *Payback* é um indicador utilizado para determinar o tempo necessário para que o investimento inicial de um projeto seja recuperado por meio dos fluxos de caixa gerados ao longo do tempo (Sobral, 2012).

O *Payback* Simples representa o tempo necessário para que o investimento inicial de um projeto seja totalmente recuperado através dos fluxos de caixa gerados ao longo do tempo, sem considerar o valor do dinheiro no tempo. Em outras palavras, ele mostra quantos anos o projeto leva para recuperar seu investimento, apenas somando os retornos anuais até igualar o valor investido. É uma medida prática e de fácil aplicação, porém limitada por não considerar o efeito dos juros, inflação ou custo de capital (Sobral, 2012).

Já o *Payback* Descontado é uma versão mais precisa do indicador, pois considera o valor do dinheiro no tempo, utilizando uma taxa de desconto (geralmente a TMA – Taxa Mínima de Atratividade). Nesse caso, os fluxos de caixa futuros são ajustados ao seu valor presente antes de serem acumulados. O *Payback* Descontado mostra em quantos anos o investimento é recuperado de forma realista, refletindo o custo de oportunidade do capital. É uma medida mais rigorosa e confiável para tomada de decisão (Gomes, 2005).

3.5.2. KPIs AMBIENTAIS

- CO₂ evitado (consolidado) pelo processo de reciclagem (tCO₂e/t), incorporando efeitos de transporte e substituição parcial de agregados naturais.
- Taxa de desvio de aterro e percentual de rejeito.

3.6. PREMISSAS, INCERTEZAS E ESCOPO DOS RESULTADOS

Reconhecem-se limitações de disponibilidade e atualização de dados municipais. Para evitar conclusões ancoradas no passado, adotam-se premissas documentadas e conservadoras, com rastreabilidade de cada número relevante às suas fontes.

Os resultados apresentados referem-se ao cenário base, calculado a partir dessas premissas. Sempre que um valor não pôde ser confirmado por dado oficial recente, ele é identificado como estimativa e acompanhado de nota explicativa. Estudos futuros poderão incorporar análises de sensibilidade e cenários para ampliar a avaliação de risco, mas tais extensões não integram o escopo desta dissertação.

3.7. ASPECTOS ÉTICOS, SIGILO E LIMITAÇÕES

Os dados da Construtora A são utilizados com consentimento informado e podem ser apresentados de forma anonimizada, quando necessário. O objetivo da análise não é avaliar o desempenho de uma empresa específica, e sim construir um modelo que apoie decisões setoriais.

Limitações: estudo de caso único; uso de dados municipais históricos para contextualização; dependência de cotações em janela temporal específica; incertezas de mercado para preço do agregado reciclado. Essas limitações, embora reconhecidas, não invalidam os resultados do cenário base aqui apresentado.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 PANORAMA DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E RCC NO BRASIL

De acordo com Lucena e Pereira Júnior (2024), o crescimento urbano acelerado, aliado ao modelo linear de produção e consumo predominante, tem gerado um volume crescente de resíduos sólidos nas cidades, comprometendo a sustentabilidade dos sistemas urbanos contemporâneos. Nesse cenário, a gestão adequada de resíduos não é apenas uma demanda ambiental, mas um desafio estratégico para o desenvolvimento econômico e social.

Entre os diversos tipos de resíduos sólidos urbanos, os oriundos da construção civil ocupam papel de destaque, tanto pelo volume expressivo quanto pelo potencial de reaproveitamento. Discutir soluções sustentáveis para esses materiais, à luz da sustentabilidade urbana e da gestão responsável de recursos, é uma tarefa urgente para as cidades que buscam alinhar crescimento urbano com responsabilidade ambiental (Lucena e Pereira Júnior, 2024).

Segundo o Portal de Educação Ambiental (PEA, 2024), o Brasil produziu 48 milhões de toneladas de resíduos da construção civil (RCC) em 2021, equivalentes a aproximadamente 227 kg por habitante, conforme o Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2022). Esse volume representa um aumento de 2,9% em relação ao ano anterior, sendo que cerca de 30% desses resíduos são provenientes da construção civil, muitos dos quais ainda são descartados inadequadamente em vias públicas. Esses dados evidenciam não apenas a crescente pressão sobre os sistemas urbanos, mas também a necessidade urgente de estratégias de gestão sustentável, que integrem práticas de redução, reaproveitamento e reciclagem. Nesse contexto, a implementação de políticas e tecnologias voltadas à economia circular emerge como um caminho estratégico para minimizar impactos ambientais, promover a eficiência no uso de recursos e contribuir para a sustentabilidade urbana.

Segundo Edson Grandisoli, coordenador pedagógico do Movimento Circular, em entrevista ao PEA (2024), a geração de RCC varia conforme o tipo de obra, a fase de execução, as tecnologias utilizadas e as práticas de gestão adotadas. Ele aponta que uma parcela significativa desses resíduos vem de reformas, e não de construções novas, e que mais de 80% deles poderiam ser reciclados ou reaproveitados, por serem compostos de materiais como madeira, metais, concreto, tijolos, vidros e plásticos.

Entretanto, essa potencialidade é subaproveitada em razão da ausência de uma gestão adequada, responsabilidade que deve ser compartilhada entre empresas,

construtoras, cidadãos e o poder público. Estudos indicam que entre 10% e 30% dos materiais adquiridos para obras são desperdiçados, gerando custos evitáveis com aquisição, transporte, descarte e remoção (PEA, 2024).

No canteiro de obras, práticas como a separação dos resíduos por classe e o encaminhamento a empresas certificadas podem contribuir de maneira significativa para a destinação adequada dos materiais. Conforme o Portal de Educação Ambiental (PEA, 2024), o setor de edificações responde por 36% do uso final de energia e por aproximadamente 39% das emissões de CO₂ relacionadas à energia e aos processos, segundo o Global Status Report (2019), publicado pela Agência Internacional de Energia (IEA). Adicionalmente, o relatório de 2022 do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA, 2022) indicou que, apenas em 2021, o setor de construção gerou 10 bilhões de toneladas de CO₂, evidenciando o impacto ambiental significativo das atividades de edificações e a necessidade de estratégias de gestão sustentável.

Além disso, segundo o Portal de Educação Ambiental (2024, *apud* ABRECON, 2023), a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição realizou uma pesquisa por meio da qual constatou-se que o setor da construção civil representa cerca de 10% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, respondendo por aproximadamente 15% dos empregos formais e sendo o segmento que mais consome recursos naturais em comparação com outros setores industriais.

De acordo com o Portal de Educação Ambiental (2024, *apud* ABRECON, 2023), a reciclagem de resíduos da construção civil (RCC) é considerada um elemento essencial para a preservação ambiental, a geração de emprego e renda, além de contribuir para a redução dos custos municipais com a coleta, transporte e destinação final de entulhos. O levantamento realizado pela ABRECON apontou que, entre 2019 e 2020, cerca de 16% dos RCC gerados no país foram reciclados, resultando na produção de agregados reciclados, cuja estimativa anual varia entre 16 e 21 milhões de toneladas.

Ainda conforme o Portal de Educação Ambiental (2024, *apud* ABRECON, 2023), a capacidade instalada de reciclagem de resíduos da construção civil no Brasil, em 2019, era de aproximadamente 50 milhões de toneladas, distribuídas em cerca de 300 usinas, sendo 100 públicas e 200 privadas. Os materiais recicláveis mais comuns incluem tijolos, argamassa, concreto, pedras e cerâmicas, os quais podem ser

transformados em brita, pedrisco ou areia, amplamente utilizados em pavimentação e bases de obras civis.

Além disso, também se destacam vidros, metais, madeiras e plásticos, evidenciando o potencial do setor para impulsionar a economia circular, reduzir a pressão sobre recursos naturais e minimizar impactos ambientais decorrentes da atividade construtiva.

Segundo Paulino *et al.* (2023), em 2020, foi assinado o novo marco legal do saneamento básico no Brasil (BRASIL, 2020), Lei nº 14.026, que deve articular o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

[...] estabeleceu datas para a implantação de disposição final adequada de resíduos: 2021, para as regiões metropolitanas; 2022, para municípios com mais de 100 mil habitantes; 2023, para municípios entre 50 e 100 mil habitantes; e 2024, para municípios com menos de 50 mil habitantes (objeto de consórcios intermunicipais). A gestão de resíduos de construção é tratada, portanto, nos planos de gestão integrada nos diferentes municípios brasileiros, muitos deles disponíveis na internet (Paulino *et al.*, 2023, n.p.).

No panorama brasileiro, conforme Paulino *et al.* (2023), há uma estimativa de aproximadamente 100 milhões de toneladas de RCC/ano ao considerar um indicador mediano de geração de RCC per capita de 500 kg/hab.ano em equivalência ao Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,80, ligeiramente superior ao IDH brasileiro. Nesse indicador per capita não foi incluído o solo de escavação na estimativa, mas o mesmo é significativo em obras.

Paulino *et al.* (2023) comentam que a estimativa de geração nacional de RCC, que foi divulgada pela Abrelpe, em 2018, é de cerca de 44 milhões de toneladas por ano, e a associação, a partir de dados coletados entre 2014 e 2018, estima que o total de RCC gerado no Brasil se mantém constante, apesar de considerar essas informações parciais, pois não há conhecimento do total de RCC gerado pelo setor. Mas a Pesquisa Setorial 2019/2020 aponta a região Sudeste como a maior geradora de RCC, com 44,5 milhões de toneladas/ano e o estado de São Paulo com a maior geração de RCC: 23,1 milhões de toneladas/ ano), seguido de Minas Gerais, do Rio de Janeiro e da Bahia, ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Comparativo de Geração de Resíduos.

Fonte/ Autor	Ano de publicação	Estimativa de Geração	Observação
ABRELPE	2018	≈ 44 milhões t/ano	Valor divulgado no Panorama de Resíduos. Dados parciais, não contemplam 100% da geração estimada no país.
Paulino et al.	2023	≈ 100 milhões t/ano	Estimativa baseada em indicador per capita 500 kg/hab.ano, com referência a IDH 0,80. Não inclui solo de escavação.
PEA	2021	48 milhões t/ano	Equivalente a 227 kg/habitante. Volume total de RCC dentro dos resíduos sólidos urbanos.
Pesquisa Setorial ABRECON 2019/2020	2019/2020	Região Sudeste: 44,5 milhões t/ano	São Paulo é o maior gerador do país (23,1 milhões t/ano), seguido de MG, RJ e BA.
Movimento Circular (Grandisoli)	2024	Não define valor total; indica que mais de 80% do RCC poderia ser reciclado	Destaca que grande parte vem de reformas e depende da fase da obra e da gestão dos resíduos.

Fonte: Autor, 2025.

Szigethy e Antenor (2020) afirmam o Brasil é um dos países que mais gera resíduos sólidos, cuja destinação final não recebe tratamento com soluções economicamente viáveis, que respeitem a legislação e com a utilização de tecnologias modernas disponíveis e, grande parte deles, são despejados a céu aberto, lançados na rede pública de esgotos ou até queimados. Dentre esses resíduos, encontram-se os da construção civil, hospitalares, radioativos, agrícolas, industriais e de mineração e domiciliares, da limpeza urbana (varrição, limpeza de logradouros e vias públicas).

4.2 ESTRATÉGIAS DE GESTÃO, RECICLAGEM E VALORIZAÇÃO DOS RCC NO BRASIL

Segundo Szigethy e Antenor (2020), com a crescente geração desses resíduos associados com descarte irregular somada ao alto custo de armazenagem resultaram em volumes crescentes de RSU acumulados que geraram sérios problemas ambientais e de saúde pública, causando contaminação de solos, cursos d'água e lençóis freáticos, e também doenças como dengue, leishmaniose, leptospirose e esquistossomose, entre outras, cujos vetores encontram nos lixões um ambiente propício para sua disseminação.

A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe), em relatório de 2018, destaca que nas cidades brasileiras foram gerados:

[...] cerca de 79 milhões de toneladas de RSU, cuja coleta chegou a 92% desse total, equivalentes a pouco mais de 72 milhões de toneladas, dos quais apenas 43,3 milhões de toneladas, 59,5% do coletado, foi disposto em aterros sanitários. O montante de 29,5 milhões de toneladas de resíduos, 40,5% do total coletado, foi despejado inadequadamente em lixões ou aterros controlados¹ e ainda cerca de 6,3 milhões de toneladas geradas anualmente continuam sem ao menos serem coletadas, e seguem sendo depositadas sem controle, mesmo quando a legislação determina a destinação para tratamento e, em último caso, para aterros sanitários (Szigethy e Antenor, 2020, n.p).

Segundo Szigethy e Antenor (2020), o Brasil dispõe de tecnologias adequadas para atender às diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). No entanto, fatores como os altos custos operacionais e a ausência de uma gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos (RSU) têm sido apontados por especialistas como os principais entraves à sua efetiva implementação. Os autores destacam que diversos países já solucionaram ou estão próximos de solucionar a questão da destinação de RSU, adotando não apenas aterros sanitários, mas também tecnologias como incineradores e biodigestores voltados à geração de energia. No contexto brasileiro, entretanto, a falta de coordenação entre as esferas de gestão pública e privada faz com que os desafios relacionados aos resíduos sólidos permaneçam semelhantes aos observados antes da PNRS.

De acordo com o relatório *What a Waste 2.0* do Banco Mundial (2018, *apud* Szigethy e Antenor, 2020), aproximadamente 2,01 bilhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) são geradas anualmente em todo o mundo, e estima-se que, até 2050, esse volume alcance 3,40 bilhões de toneladas, representando um aumento de cerca de 70%. Para mitigar esse impacto, diversos países têm investido em tecnologia e inovação, priorizando o tratamento e a valorização dos resíduos como estratégias centrais na gestão ambiental.

Além dos prejuízos ambientais, o Brasil também enfrenta perdas financeiras significativas. Em 2019, a ABRELPE estimou que os recicláveis descartados em lixões representaram uma perda de R\$ 14 bilhões ao país (ABRELPE, 2019). A geração de resíduos é, de forma geral, inevitável, uma vez que todos os materiais possuem vida útil limitada, conforme observado por John (2000). Estudos mais recentes reforçam a importância da reciclagem como estratégia central para a sustentabilidade urbana, destacando que o reaproveitamento de resíduos contribui para a redução de impactos ambientais, geração de emprego e renda, e economia de recursos naturais (Paulino *et al.*, 2023; Szigethy e Antenor, 2020). Nesse contexto, políticas de gestão integrada de resíduos e investimentos em tecnologias de reciclagem tornam-se essenciais para maximizar os benefícios econômicos e ambientais do setor.

Diante desse panorama, a gestão de resíduos da construção civil exige a adoção de soluções integradas, políticas públicas articuladas e estratégias que associem inovação tecnológica, sustentabilidade ambiental e viabilidade econômica.

Conforme Bohnenberger *et.al* (2018) e Paschoalin-Filho *et al.* (2018), uma usina de reciclagem de resíduos da construção civil traz inúmeros benefícios, como a sustentabilidade, para preservar os recursos naturais, reduzir os impactos ambientais e emissões de carbono; ajuda na construção de uma sociedade mais sustentável; diminui a quantidade de resíduos em aterros sanitários, que podem atrair pragas e transmissores de doenças.

A adoção de práticas de economia circular no setor da construção civil proporciona diversos benefícios econômicos, ambientais e sociais. Ao processar e transformar resíduos diretamente na obra, as empresas podem reduzir custos operacionais, diminuir o desperdício e economizar energia, além de otimizar a logística e o transporte de materiais. Além disso, organizações que incorporam essas práticas e obtêm certificações ambientais ganham maior reconhecimento e credibilidade junto a clientes e parceiros comerciais. Para a sociedade, os ganhos

incluem a redução de riscos regulatórios, maior segurança para trabalhadores e comunidade, e a geração de empregos na região, promovendo impactos positivos amplos no desenvolvimento sustentável local (FACIAP, 2025).

Na visão de Lopes *et al.* (2023), a reciclagem dos resíduos de construção e demolição é viável do ponto de vista técnico e ambiental, mas ainda há, no Brasil, alguns desafios a serem vencidos, como “as resistências culturais, a ilegalidade, a participação do poder público na adoção de medidas que intensifiquem o consumo de agregados reciclados e a destinação correta dos resíduos” (Lopes *et al.*, 2023, p. 939). Para os autores, para que haja uma mudança e a reciclagem atinja todo o seu potencial, faz-se necessárias novas políticas públicas, que sejam mais consistentes e que englobem as áreas de legislação, pesquisa e desenvolvimento, legislação tributária e educação ambiental.

Para a implantação de usinas de reciclagem, na visão de Bohnenberger *et al.* (2018) e Paschoalin-Filho *et al.* (2018), deve-se considerar os aspectos referentes ao gerenciamento dos RCC. Os autores salientam que a implantação de usinas de reciclagem de resíduos da construção civil (RCC) requer atenção ao gerenciamento desses resíduos e à escolha de locais adequados, tarefa complexa devido à necessidade de avaliar grandes extensões territoriais. As áreas selecionadas devem atender a requisitos técnicos, ambientais e econômicos, considerando múltiplos critérios. Para isso, utilizam-se Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que permitem análises multicritério precisas e apoiam a tomada de decisão estratégica, garantindo eficiência, sustentabilidade e viabilidade econômica na instalação das usinas.

De acordo com Bohnenberger *et al.* (2018), geralmente, utiliza-se a análise multicritério, para a escolha de áreas destinadas à implantação de aterros sanitários, mas ela é pouco difundida na identificação de áreas destinadas à reciclagem de RCC. Os autores salientam que não foram identificados estudos que envolvessem SIG e análise multicritério na seleção de áreas para usinas de reciclagem de RCC.

Segundo Ferreira *et al.* (2022), a construção de plantas de reciclagem adequadas, com equipamentos de transporte e sistemas de armazenamento, é essencial para viabilizar o processo. Além disso, é necessário conhecimento especializado sobre a segregação e classificação correta dos RCC, a fim de verificar a qualidade do material reciclado, sua origem e quais podem ser utilizados em obras de construção.

Ferreira *et al.* (2022) ressaltam que as usinas precisam de tecnologias eficientes para triturar, separar e transformar os RCC em materiais utilizáveis, como agregados reciclados. A viabilidade econômica da implantação e operação dessas usinas pode ser desafiadora, pois é necessário investir em tecnologias inovadoras para tornar o processo de reciclagem mais eficiente e econômico. Nesse sentido, é importante que haja parcerias entre o governo, as empresas e a sociedade civil para sua implantação, contando com apoio de incentivos fiscais e outros mecanismos econômicos.

4.3 ECONOMIA CIRCULAR APLICADA À CONSTRUÇÃO CIVIL

A economia circular (EC) é um modelo de produção e consumo que visa manter os recursos em uso pelo maior tempo possível, extraindo o máximo de valor enquanto estão em uso, e recuperando e regenerando produtos e materiais ao final de sua vida útil. Fundamenta-se nos princípios de reduzir, reutilizar, recuperar e reciclar, adotando a lógica do ciclo fechado, substituindo o modelo linear de "extrair, produzir, descartar", ilustrado na Figura 1. (Paschoalin-filho; Ortega, 2022).

Segundo Sá et al. (2018), a cadeia produtiva da construção civil apresenta um nível elevado de complexidade, sendo muito fragmentada e envolta por práticas convencionais que tendem à geração de grandes quantidades de resíduos. A economia circular aplicada a este setor propõe um redesenho dos sistemas produtivos com foco na minimização de impactos ambientais e na maximização do uso de recursos, promovendo o reuso de materiais, a reciclagem e a reintegração dos resíduos aos processos construtivos. A Figura 1 ilustra o conceito.

Figura 1- Economia Circular



Fonte: Plano Nacional de Economia Circular, 2024.

A construção civil, por sua natureza intensiva em recursos naturais, apresenta grande potencial para aplicação dos princípios da economia circular. Munaro e Tavares (2021) destacam que a economia circular nesse setor pode promover a redução do consumo de recursos naturais, incentivar a reutilização de materiais, impulsionar o uso de tecnologias mais limpas e eficientes, e contribuir para o desenvolvimento de novos modelos de negócios que consideram o ciclo de vida completo dos produtos e serviços.

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, introduziu o conceito de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, além da obrigatoriedade da logística reversa para determinados setores. Embora os resíduos da construção civil não estejam diretamente incluídos entre os produtos sujeitos à logística reversa, os princípios da PNRS, como a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos, são plenamente aplicáveis à cadeia da construção civil (BRASIL, 2010).

Alves *et al* (2021) e Figliuolo (2023) ressaltam que a responsabilidade compartilhada implica que todos os agentes da cadeia produtiva – fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana – devem atuar de forma integrada na gestão dos resíduos. Essa abordagem é fundamental para o avanço da economia circular, especialmente em um setor como o da construção civil, onde a gestão fragmentada e a falta de normatização dificultam a implementação de práticas sustentáveis.

Nesse sentido, segundo Alves *et al* (2021) e Figliuolo (2023), a economia circular também está diretamente relacionada à promoção dos ODS, particularmente os ODS 11 – Cidades e comunidades sustentáveis; ODS 12 – Consumo e produção responsáveis; e ODS 13 – Ação contra a mudança global do clima. Ao adotar práticas circulares, a construção civil contribui para a redução dos impactos ambientais, para a eficiência na utilização de recursos e para o fortalecimento da resiliência urbana.

De acordo com Oliveira e Vieira (2023), para que a economia circular seja efetivamente incorporada ao tecido urbano, é necessário que as cidades estejam estruturadas a partir de fundamentos que favoreçam a integração entre inovação tecnológica, planejamento urbano, sustentabilidade ambiental e participação cidadã. Tais fundamentos compõem os pilares das chamadas cidades inteligentes, que vão além do uso de tecnologia e promovem uma gestão orientada por dados, equidade social e desenvolvimento sustentável.

A Tabela 2 apresenta uma síntese dos principais pilares que sustentam esse conceito, com base na sistematização proposta por Oliveira e Vieira (2023).

Tabela 2 - Pilares para a construção de uma cidade inteligente.

Governança	Desenvolver uma gestão transparente e eficiente dos recursos públicos, com foco na participação cidadã e na tomada de decisões baseada em dados.
Economia	Promover o desenvolvimento econômico local, com estímulo à inovação, ao empreendedorismo e à integração com mercados globais.
Coesão Social	Estimular o senso de comunidade, promover a inclusão e a participação social, e garantir que os benefícios do desenvolvimento urbano sejam distribuídos de forma equitativa.
Tecnologia	Utilizar a tecnologia de forma estratégica para melhorar a infraestrutura, a mobilidade, a segurança e a gestão de recursos.
Planejamento Urbano	Organizar o espaço urbano de forma eficiente, sustentável e inclusiva, com foco na mobilidade, na segurança e na qualidade de vida.
Mobilidade	Investir na mobilidade urbana, com foco na eficiência, na sustentabilidade e na acessibilidade, com tecnologias como transporte público inteligente e veículos elétricos.
Recursos Humanos	Estimular o desenvolvimento profissional e o aprimoramento das habilidades da população, com foco na educação, na qualificação profissional e no acesso a oportunidades de aprendizado.
Meio Ambiente	Promover a sustentabilidade ambiental, com foco na redução do consumo de recursos, na geração de energia renovável e na gestão de resíduos.

Fonte: elaborado pela autora a partir de Oliveira e Vieira (2023).

4.3.1 CIDADES INTELIGENTES: CONCEITOS, CARACTERÍSTICAS E EXEMPLOS INTERNACIONAIS.

No Brasil, no período de 1950 a 1980, o êxodo rural intensificou-se e a população rural diminuiu cerca de 65%, em função da industrialização e urbanização do país, que a estimulou a buscar oportunidades de trabalho nos centros urbanos.

Conforme Oliveira e Vieira (2023) houve um crescimento acelerado das áreas urbanas e, com isso, surgiram inúmeros problemas, cuja solução depende de estratégias eficazes para enfrentar os inúmeros desafios com relação à mobilidade, habitação, infraestrutura e qualidade de vida. Atualmente, busca-se priorizar o bem-estar dos cidadãos, e isso tornou-se um dos pilares das cidades inteligentes, que abrange desde serviços de saúde, educação e segurança até a promoção de lazer e cultura.

Segundo Lazzaretti *et al.* (2019), Petarnella e Lui (2019) e Oliveira e Vieira (2023), a complexidade das cidades, o crescimento populacional e o aumento da urbanização envolvem uma variedade de problemas técnicos, sociais, econômicos e organizacionais, que comprometem sua sustentabilidade econômica e ambiental. Por conta disso, busca-se soluções baseadas em tecnologia e novas abordagens para o planejamento e a vida urbana, para assegurar sua viabilidade. Nesse contexto, surgem as expressões cidades criativas, cidades sustentáveis e cidades inteligentes, que consideram várias estratégias para mitigar os problemas que as afetam.

Conforme Oliveira e Vieira (2023), considera-se os anos 1980 como o início das questões essenciais na história humana com o desenvolvimento da globalização, quando surgiram grandes desafios políticos, sociais e econômicos e, também, novos conceitos como o da cidade inteligente. Com o uso da internet nas atividades sociais e econômicas, com o aumento do crescimento da tecnologia da informação e demais inovações tecnológicas, epidemias e outros, os governos de um modo geral começaram a se atentar para o conceito de cidade inteligente. Busca-se novos planejamentos urbanos para se evitar que as cidades sejam congestionadas, poluídas e inseguras; mudanças no uso de energia e materiais; sistemas de mobilidade inteligentes, a necessidade de novos serviços urbanos e modelos de negócios em busca de sistemas urbanos sustentáveis.

Lazzaretti *et al.* (2019) ressaltam que não há uma definição consensual do termo cidades inteligentes (*smart cities*), mas sabe-se que seu objetivo é promover melhor o uso dos recursos públicos, melhorar a qualidade dos serviços oferecidos aos

cidadãos, reduzir os custos operacionais da administração pública e buscar soluções para o uso dos recursos naturais e energia, para o transporte e mobilidade, construção de edifícios, sua governabilidade, economia e a qualidade de vida das pessoas. Mas Petarnella e Lui (2019) conceituam *Smart City* como uma estratégia urbana, que visa melhorar a qualidade de vida no espaço urbano, que aborda todos os aspectos do bem-estar: econômicos, sociais e ambientais na busca de harmonia entre eles.

Nesse sentido, Lazzaretti *et al.* (2019) consideram como inteligente a cidade, onde há investimentos em capital humano e social, na infraestrutura de transporte, que impulsiona o crescimento econômico sustentável e uma alta qualidade de vida, a partir de uma gestão inteligente dos recursos naturais, por meio de governança participativa e com uso de tecnologias, informação e comunicação.

Com relação a isso, Petarnella e Lui (2019) acrescentam que nas cidades inteligentes são relevantes as questões relacionadas à gestão, à mobilidade urbana, ao bem-estar, à qualidade de vida, à educação, ao saneamento, que devem ser (re) pensadas e (re) dimensionadas com o uso das tecnologias da informação e comunicação (TIC), a partir de um planejamento e uma governança pública eficiente.

Lazzaretti *et al.* (2019) apontam algumas características das cidades inteligentes, que a diferenciam das demais, dentre elas: o uso da infraestrutura de rede para melhorar a eficiência econômica e política em busca do desenvolvimento social, cultural e urbano; ênfase no desenvolvimento urbano conduzido pelos negócios; foco no objetivo de inclusão social dos habitantes em serviços públicos; ênfase no papel das indústrias de alta tecnologia e criativas no crescimento urbano; atenção ao papel do capital social e relacional no desenvolvimento urbano; sustentabilidade social e ambiental; e o uso intensivo da tecnologia em busca de soluções para os problemas.

Uma aliada no desenvolvimento de cidades inteligentes, segundo Lazzaretti *et al.* (2019) é a Internet das Coisas urbanas (IoT – *Internet of Things*), que são projetadas para apoiá-las, com a exploração das mais avançadas tecnologias de comunicação em serviços na administração da cidade e para atender os cidadãos, através de uma rede de comunicação entre M2M (*Machine to Machine*), IoT e IoE (*Internet of Everything*), com base em uma economia criativa. Petarnella e Lui (2019) acrescentam que é fundamental formular propostas que possibilitem a convergência entre as políticas públicas e as tecnologias, com fluxos informacionais oriundos da expansão tecnológica a favor da plasticidade urbana/ cotidiana.

Com isso, as cidades inteligentes devem se configurar como um território inovador, inteligente e criativo. Os autores salientam que as cidades inteligentes se utilizam das TICs, para garantir o bem-estar e a qualidade de vida dos cidadãos, e, para isso, precisam promover a padronização de serviços, o provisionamento de infraestrutura tecnológica, o armazenamento e o compartilhamento de dados e a estrutura computacional.

Oliveira e Vieira (2023) ressaltam a importância de se proporcionar uma qualidade de vida melhor para os habitantes que pagam impostos, e os governantes devem criar políticas que os favoreçam em todas as áreas, e para isso, faz-se necessária uma mudança na organização das cidades, para torná-las inteligentes.

Oliveira e Vieira (2023) reforçam que para verificar se as cidades são inteligentes, deve-se considerar alguns indicadores como: avaliar a qualidade de vida dos cidadãos, em termos de saúde, educação, segurança e acesso a serviços públicos; avaliar o consumo de energia e a utilização de fontes renováveis, com foco na redução do impacto ambiental; medir a eficiência e a sustentabilidade do sistema de transporte privado e público, a utilização de veículos elétricos e a redução de congestionamentos; e avaliar a eficiência da gestão de recursos naturais, como água, energia e resíduos, com foco na sustentabilidade.

O desenvolvimento sustentável das cidades é um tema que está diretamente atrelado ao conceito de cidades inteligentes, e todas as cidades do mundo têm buscado formas e estratégias para enfrentar os desafios atuais, com a incorporação de tecnologias para melhorar a qualidade de vida de seus habitantes e conta com a colaboração e a capacidade coletiva de planejar ações. A partir disso, ao se falar em cidades inteligentes, deve-se pensar em investimentos em capital humano e social; em infraestrutura de transporte, em tecnologias e outros aspectos importantes que proporcionem um crescimento econômico sustentável, uma alta qualidade de vida, gestão inteligente dos recursos naturais e por meio da governança participativa (Sá *et al.*, 2023).

Oliveira e Vieira (2023) ressaltam a importância de se avaliar o desempenho das cidades para compreender o impacto direto das medidas implementadas na vida de seus habitantes. Essa avaliação de cidades inteligentes torna-se relevante pois, com mais pessoas vivendo em áreas urbanas, é essencial entender como os desafios oriundos desse crescimento com relação às questões de mobilidade, habitação e

infraestrutura podem ser vencidos, de modo a oferecer melhor qualidade de vida dos habitantes.

A avaliação do desempenho e da sustentabilidade dessas cidades, segundo Oliveira e Vieira (2023), é fundamental para se compreender como as iniciativas implementadas impactam diretamente no bem-estar das pessoas, na saúde, na educação, segurança e no lazer. A avaliação deve considerar, também, a eficiência e a inovação que as cidades inteligentes buscam alcançar; identificar quais estratégias são eficazes; o que deve ser aprimorado e quais são as melhores práticas, que devem ser compartilhadas e replicadas em outras cidades.

Como a sustentabilidade ambiental é uma preocupação mundial, e o desenvolvimento urbano impacta o meio ambiente, Oliveira e Vieira (2023) comentam que é preciso avaliar o compromisso das cidades com a sustentabilidade, com a redução das emissões de carbono, a gestão de resíduos e o uso eficiente de recursos naturais. Para isso, é preciso uma governança eficaz, transparente, que estimula a participação cidadã, com fortalecimento da democracia e da eficácia das políticas urbanas.

Outro fator relevante, de acordo com Oliveira e Vieira (2023), refere-se ao desenvolvimento econômico, que é impulsionado por todas essas questões até aqui descritas, que favorecem a inovação e atraindo investimentos, promove o crescimento econômico e a criação de empregos. Os autores salientam que:

[...] a avaliação de cidades inteligentes é essencial para enfrentar desafios urbanos complexos, como congestionamento, poluição, desigualdade social e falta de moradia. Ela ajuda a identificar soluções eficazes e orienta o planejamento urbano (Oliveira, Vieira, 2023, p. 3).

Segundo Oliveira e Vieira (2023), medir uma cidade inteligente é uma tarefa muito complicada, pois cada cidade tem características administrativas, econômicas e sociais únicas e prioridades específicas, mas enfatiza-se que o faz-se necessário o uso de TIC em infraestruturas públicas e serviços, a integração entre diferentes sistemas de planejamento e implementação, cooperação universal no desenvolvimento urbano, bem como a autonomia na tomada de decisões, uma governança participativa, conectividade e integração.

Segundo Oliveira e Vieira (2023), a utilização de indicadores de desempenho e sustentabilidade em cidades inteligentes é uma prática realizada em diversos países. Eles podem variar de acordo com o foco, a metodologia e as áreas de avaliação, mas utilizam categorias como econômicas, sociais, ambientais e tecnológicas na avaliação.

Oliveira e Vieira (2023) comentam que foi realizada uma pesquisa sobre indicadores de desempenho e sustentabilidade em cidades inteligentes sobre o atual estado de desenvolvimento urbano em diversas regiões geográficas ao redor do mundo.

Segundo os autores, realizou-se uma comparação entre as cidades selecionadas em termos de eficiência, qualidade de vida e práticas sustentáveis, a partir dados as avaliações qualitativas sobre cidades consideradas líderes e aquelas apresentam oportunidades para melhorias.

Segundo Oliveira e Vieira (2023), ao analisar as informações sobre essas cidades apontadas como mais inteligentes, pode-se obter informações importantes que fornecem aspectos relevantes para planejadores urbanos, governos locais e para pessoas interessados em investir em mais eficiência e sustentabilidade.

Nas cidades dos EUA: Nova York, San Francisco (Califórnia), Portland (Oregon), Seattle (Washington), Chicago (Illinois) e Boston (Massachusetts), Oliveira e Vieira (2023) afirmam que eles se destacam pelo engajamento na implementação de indicadores de desempenho e sustentabilidade como estratégias de desenvolvimento urbano inteligentes.

Nas cidades apontadas como mais inteligentes no Reino Unido: Londres, Manchester, Birmingham e Glasgow, observa-se que, nelas, há um compromisso com a utilização de indicadores de desempenho e sustentabilidade em suas estratégias de desenvolvimento urbano inteligente (Oliveira e Vieira, 2023).

Na China, destacam-se as cidades: Shenzhen, Xangai, Pequim, Guangzhou, Hangzhou, Wuhan e Tianjin tem um compromisso significativo com a implementação de indicadores de desempenho e sustentabilidade e têm buscado o desenvolvimento urbano inteligente e sustentável. O foco dela é mais voltado para o transporte, a qualidade do ar e a eficiência energética, que é um desafio significativo em muitas cidades chinesas (Oliveira e Vieira, 2023).

Já no Sudeste Asiático, Singapura, de acordo com Oliveira e Vieira (2023), é a cidade considerada como mais inteligente e é uma das líderes globais na adoção de

indicadores de desempenho e sustentabilidade, se esforça para criar um ambiente urbano inovador, eficiente e habitável para seus cidadãos. O governo continua a investir em tecnologias verdes e sustentáveis; prioriza a redução da pegada de carbono da cidade. Além disso, explora oportunidades de colaboração internacional, para compartilhar as melhores práticas em cidades inteligentes.

Nos Emirados Árabes, de acordo com Oliveira e Vieira (2023), destacam-se as seguintes cidades consideradas as mais inteligentes são: Dubai, Abu Dhabi, Sharjah, Ajman, Umm Al-Quwain e Fujairah. Os Emirados Árabes Unidos (EAU), como um todo, estão comprometidos com o desenvolvimento de cidades inteligentes e sustentáveis; e têm adotado indicadores de desempenho e sustentabilidade em várias cidades.

No Canadá, segundo Oliveira e Vieira (2023), destacam-se: Toronto (Ontário), Vancouver (Colúmbia Britânica), Calgary, Alberta, Montreal, Quebec, Ottawa, Ontário e Québec, com sério compromisso com a implementação de indicadores de desempenho e sustentabilidade em suas estratégias de desenvolvimento urbano inteligente e sustentável. Seu foco são áreas-chave como eficiência energética, qualidade do ar, mobilidade urbana sustentável e qualidade de vida com o objetivo de criar cidades mais inteligentes e sustentáveis.

4.3.2 INTEGRAÇÃO ENTRE ECONOMIA CIRCULAR, INTELIGÊNCIA URBANA E GESTÃO DE RCC

Oliveira e Vieira (2023), a partir do estudo realizado, compilaram algumas tendências identificadas sobre os focos principais nas cidades listadas como inteligentes, e o destaque é para a preocupação com a preservação do meio ambiente, a redução de energia e a adoção de práticas mais sustentáveis.

Com base na análise de Oliveira e Vieira (2023) sobre as iniciativas adotadas por diferentes cidades consideradas inteligentes, observa-se que, embora essas localidades apresentem contextos distintos de Juiz de Fora, os resultados da pesquisa evidenciam um princípio unificador aplicável à gestão de Resíduos da Construção Civil (RCC) no município: o uso estratégico de dados e tecnologias para otimizar recursos e promover a sustentabilidade. A mesma lógica que orienta a utilização de redes de sensores para monitoramento da qualidade do ar ou gestão do tráfego urbano pode ser transposta, em escala reduzida, para o acompanhamento da geração de resíduos em canteiros de obras, avaliação da eficiência de britadores ou controle da qualidade de agregados reciclados. Dessa forma, a implantação de uma usina local de

reciclagem de RCC configura-se não apenas como uma medida de engenharia ambiental, mas como um passo essencial rumo à construção de uma cidade mais inteligente, pautada na gestão consciente e eficiente de seus fluxos de materiais.

Baseado em Munaro e Tavares (2022) e demais autores estudados, traçou-se as linhas gerais sobre a integração entre economia circular e inteligência urbana, que é uma abordagem promissora para construir cidades mais sustentáveis e eficientes, pois seu foco é a redução do desperdício e a reutilização de recursos com a utilização de tecnologias para otimizar processos e serviços. Nesse sentido, a combinação da economia circular com a inteligência urbana pode impulsionar a inovação e o desenvolvimento de novos produtos, serviços e processos mais sustentáveis.

Munaro e Tavares (2022) ressaltam que a inteligência urbana deve identificar oportunidades para reutilizar materiais e produtos, como água, energia e equipamentos, e promover uma economia mais circular e eficiente. Em busca do planejamento urbano sustentável, a integração de dados e tecnologias pode auxiliar na sua criação, ao considerar os impactos ambientais e sociais da produção e consumo. Na gestão de resíduos, as tecnologias são utilizadas como sensores, para rastrear, monitorar e recuperar resíduos industriais, como plásticos e metais, para reutilização em outros processos e sistemas; para otimizar a coleta seletiva, a reciclagem e o tratamento de resíduos e, assim, reduzir o volume de material enviado para aterros.

Além disso, a inteligência urbana, segundo Munaro e Tavares (2022), pode otimizar o uso de energia renovável, como energia solar e eólica, e incentivar a utilização de sistemas de gestão de energia mais eficientes; monitorar o uso de água e identificar oportunidades para reutilização em processos industriais e agrícolas; utilizar dados em tempo real para otimizar o trânsito, incentivar o uso de transporte público e promover a mobilidade urbana sustentável.

Para Sá *et al.* (2023), dentre os benefícios da integração entre a economia circular e a inteligência urbana cita-se: redução dos custos com energia, água, resíduos e transporte; maior eficiência dos processos; a utilização de tecnologias e a otimização de processos aumentam a produtividade e a eficiência da economia urbana; a redução do desperdício e reutilização dos recursos contribuem para a proteção do meio ambiente e a preservação dos recursos naturais. Dessa forma, a criação de cidades mais sustentáveis traz melhorias na qualidade de vida dos cidadãos e proporciona um ambiente mais saudável. Na economia circular, segundo

esses autores, as transições e incorporações de cidades inteligentes propiciam ecossistemas abertos e, neles, os cidadãos e outras partes interessadas trabalham de forma colaborativa na cocriação de inovações que proporcionam uma vida melhor na cidade e impulsionam a economia local e regional.

Sá *et al.* (2023) destacam que o trabalho colaborativo constitui elemento essencial para a implementação de tecnologias inteligentes integradas aos princípios da economia circular, configurando-se como uma estratégia promissora para a gestão eficiente dos resíduos urbanos. Tais tecnologias incluem iniciativas como o gerenciamento inteligente da frota de coleta de lixo, a segregação automatizada de resíduos e a integração de diferentes sistemas de monitoramento e controle ambiental.

Sá *et al.* (2023) observam que, desde a década de 1980, o consumo de recursos naturais mais que duplicou, sustentado por um modelo econômico linear, caracterizado pelo incentivo ao consumo e pela negligência quanto ao descarte adequado dos resíduos. No entanto, esse modelo mostra-se atualmente insustentável, tornando indispensável a transição para a economia circular, cujo propósito central é a sustentabilidade dos sistemas de produção e consumo. Diante das transformações ambientais globais, das mudanças climáticas, da reconfiguração dos padrões industriais e comerciais e do agravamento das desigualdades socioeconômicas, torna-se urgente a adoção de práticas circulares. Nesse contexto, a economia circular apresenta-se como uma alternativa viável para promover a sustentabilidade ambiental, econômica e social, por meio de estratégias voltadas à construção de sistemas produtivos e urbanos mais equilibrados.

Conforme Sá *et al.* (2023), ao se aplicar a economia circular aos princípios econômicos, pode-se criar ciclos de energia e materiais, com a diminuição da entrada de recursos, emissões, resíduos e vazamentos de energia e preservar o meio ambiente, além de impulsionar novos modelos de negócios e interações econômicas. Mas os autores salientam que a implementação da economia circular para ser eficaz, deve ser conduzida de cima para baixo através de políticas públicas e de baixo para cima por inovações comunitárias e empresariais. Para isso, é importante que haja colaboração entre os governos locais, estaduais e nacionais, das empresas em todas as cadeias de suprimentos e facilitadores aos consumidores.

No decorrer do estudo, observou-se que os resíduos sólidos descartados na natureza e nas áreas urbanas trazem inúmeros problemas para o meio ambiente e

para a população. Saber gerenciá-los é um grande desafio para a sociedade e para os governantes, pois a tendência é que sempre haja aumento na quantidade de resíduos, pois como diz Pereira (2017), a população nas áreas urbanas está em crescimento. Em 2010, a indústria da construção civil utilizava entre 14 e 50% dos recursos naturais e gerava de 51 a 70% dos resíduos totais produzidos e, após 15 anos, não há ainda uma solução definitiva para esse problema, mas há novos caminhos a serem trilhados.

De acordo com Munaro e Tavares (2022), a construção civil precisa transitar para um sistema circular de produção e consumo, para reduzir os impactos ambientais do setor, mas há falta de compreensão dos princípios da economia circular e sobre a complexidade da sua cadeia de valor. A adoção do modelo circular é uma alternativa sustentável e lucrativa e, através dela, dissocia-se o crescimento econômico da exploração de recursos naturais, e alcança-se benefícios socioeconômicos. Os autores acreditam que, nos próximos dez anos, o mercado circular terá um crescimento econômico em até 4%, mas consideram o setor muito conservador, que mantém seu próprio processo de design, técnicas de fabricação, cadeia de suprimentos e arranjos financeiros. Observa-se uma dificuldade para o desenvolvimento da EC, devido à falta de clareza e compreensão dos seus princípios, e a complexidade da cadeia de valor da construção dificulta a disseminação de conhecimentos e diretrizes do projeto e da construção circular.

As iniciativas de EC possuem diferentes direcionamentos e a implementação da circularidade em edificações possui particularidades devido à complexidade das edificações, que possuem diversos atributos interligados, como projeto e planejamento, escolha do material, operação e manutenção da edificação. Há a necessidade de entender as barreiras e oportunidades que influenciam os desenvolvimentos atuais na indústria da construção para conceituar a EC no setor (Munaro e Tavares, 2022, p. 55).

Munaro e Tavares (2022) destacam que a adoção da economia circular (EC) no setor da construção enfrenta tanto barreiras quanto oportunidades, as quais podem ser classificadas em cinco categorias principais: econômicas, informacionais, institucionais, políticas e tecnológicas. Essas categorias influenciam diretamente a

implementação de diferentes modelos de negócios circulares (MNC) nesse setor. Entre as barreiras, os autores distinguem aquelas de natureza interna — relacionadas a pressões financeiras, organizacionais e ao conhecimento disponível dentro das empresas — e as de natureza externa, que envolvem a cadeia de suprimentos, o mercado e o contexto institucional, sendo estas consideradas os principais desafios.

Munaro e Tavares (2022) apontam que entre os principais obstáculos à implementação da economia circular no setor da construção estão a ausência de legislação e regulamentação ambiental apropriadas, a falta de políticas fiscais de incentivo, a percepção limitada ou negativa dos consumidores em relação a componentes reutilizados, as restrições tecnológicas para rastrear materiais reciclados e a baixa conscientização do público em geral. Quanto às oportunidades proporcionadas pela reciclagem de materiais de construção (RC), os autores destacam o potencial de geração de empregos e o cumprimento de leis e políticas voltadas à gestão de resíduos, que contribuem para a preservação ambiental. No entanto, esses benefícios muitas vezes não incentivam as empresas, cuja prioridade permanece voltada à maximização de lucros. Para superar essas barreiras, torna-se necessária a implementação de políticas de incentivo fiscal e a modernização tecnológica, incluindo a disponibilização de tecnologia adequada, difusão de práticas, suporte técnico e capacitação.

Munaro e Tavares (2022) ressaltam que, além das barreiras técnicas e econômicas, existem barreiras culturais significativas, como a falta de interesse e conscientização por parte dos consumidores e a resistência organizacional enraizada na cultura empresarial. No setor da construção, as dificuldades mais relevantes concentram-se nos processos de triagem, transporte e recuperação na gestão de resíduos de construção e demolição (RCC), no tratamento final dos resíduos, nas externalidades geradas, na incompatibilidade entre a gestão de resíduos e as ferramentas de projeto, e nos altos custos associados aos resíduos.

De acordo com Munaro e Tavares (2022), entre as cinco categorias de barreiras e oportunidades para a economia circular, as questões políticas mostram-se mais expressivas, especialmente pela ausência de um plano de governança que promova a economia circular, incluindo regulamentações e incentivos fiscais voltados ao aumento do desempenho do setor da construção civil na agenda de sustentabilidade. Nesse contexto, a reutilização de materiais de construção torna-se fundamental para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, derivadas tanto da produção quanto

do transporte desses materiais. Contudo, o setor construtivo apresenta baixa propensão à inovação e, devido à falta de incentivos financeiros para o mercado de materiais secundários, ainda não tem adotado de maneira significativa estratégias de redução de RCC.

Diante disso, os autores comentam que há necessidade de medidas de recompensa para projetos circulares ou penalidades nas taxas de geração de resíduos, as quais devem ser incorporadas às políticas públicas. Em busca de divulgar a importância das práticas circulares, Munaro e Tavares (2022) apontam a necessidade de ações governamentais, a integração entre governo, empresa, para reduzir a percepção negativa do público e ampliar a demanda por edificações circulares. É fundamental, também, que as mídias sociais sejam utilizadas para aumentar a conscientização sobre uma sociedade mais sustentável. Ressalta-se que a circularidade é essencial para garantir um meio ambiente melhor para as gerações futuras.

De acordo com Iglesias, Alberte e Carneiro (2019), a economia circular aplicada à construção civil não se restringe a um conjunto de práticas técnicas, mas configura uma abordagem estratégica, sistêmica e interdisciplinar. Seu potencial de transformação se expressa não apenas na redução dos impactos ambientais, mas na promoção de um novo paradigma de desenvolvimento urbano sustentável, justo e regenerativo. Na prática da gestão de RCC, a transição de um modelo linear para circular se materializa em decisões de engenharia e processo. O princípio de fechar o ciclo transcende a simples reciclagem e passa a influenciar diretamente a especificação dos equipamentos, como a escolha de britadores de impacto que produzem agregados com melhor morfologia para reuso em concretos. Da mesma forma, a diretriz de manter os recursos em seu mais alto valor impõe um rigor maior na etapa de triagem na origem, pois a contaminação por gesso ou outros materiais da Classe C e D não apenas gera rejeitos, mas desvaloriza todo o lote de agregados reciclados da Classe A.

4.4 LEGISLAÇÃO E DIRETRIZES BRASILEIRAS

Os Objetivos dos ODS, segundo Bohana *et al.* (2019) fazem parte da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), um pacto global firmado em 2015 por 193 países com o propósito de orientar políticas públicas e ações sociais até 2030. Os ODS abrangem 17 objetivos e 169 metas que buscam enfrentar os principais

desafios contemporâneos, como pobreza, desigualdade, mudanças climáticas, degradação ambiental, acesso a serviços essenciais e promoção do desenvolvimento econômico sustentável. Esses objetivos representam um compromisso integrado entre as dimensões ambiental, social e econômica, reconhecendo que o desenvolvimento só é possível quando há equilíbrio entre essas três esferas. No contexto brasileiro e, especialmente, na construção civil, os ODS fornecem diretrizes para práticas mais responsáveis, eficientes e sustentáveis, alinhando o setor às metas globais de sustentabilidade e estão alinhados ao conceito de sustentabilidade, e três deles se relacionam diretamente com o setor da construção civil: Água e Saneamento para todos; Indústria, inovação e infraestrutura e Cidades e comunidades sustentáveis.

Para os autores, o desenvolvimento na indústria de construção civil deve contribuir para o alcance desses objetivos e, também para a redução dos impactos ambientais gerados pela indústria. Inclusive a Organização das Nações Unidas (ONU) (2019) citou problemas mundiais em que a indústria da construção civil se insere.

Para Bohana *et al.* (2019) as atividades da indústria da construção civil devem estar comprometidas com o desenvolvimento sustentável, o que é um desafio para as cidades que não manejam adequadamente os RCC. A construção civil deve se comprometer com os três objetivos da Agenda 2030, que incluem água e saneamento para todos; construção de estruturas resilientes; e, garantia de consumo e produção sustentáveis.

Nesse sentido, Bohana *et al.* (2019) ressaltam que a construção civil deve realizar ações em parceria com os governos, setor privado, comunidades locais, para o desenvolver atividades e programas, que priorizem a gestão dos recursos hídricos e sólidos, o uso consciente da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e o fomento às tecnologias de reuso.

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2019), as indústrias da construção civil devem se adaptar aos anseios de uma sociedade mais inclusiva e justa, indo além da busca por ganhos financeiros. Para isso, é necessário investir em materiais e tecnologias sustentáveis que contribuam para reduzir de forma significativa os impactos ambientais gerados por suas atividades. Para isso, precisam buscar alternativas para eliminar os resíduos de construção, reformas e demolição até 2030, repensar suas práticas para reduzir, reutilizar, reciclar e recuperar os resíduos com o objetivo de gerar energia (Bohana *et al.*, 2019).

De acordo com Paschoalin-Filho *et al.* (2018) entre as ferramentas de gerenciamento sustentável de RCC, há o modelo da pirâmide da hierarquia de gestão de resíduos sólidos, que é recomendada pelas legislações nacionais e internacionais, dentre elas a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) do Brasil (MMA, Lei 12.305/2010); a Diretiva 2008/98/CE, relativa aos resíduos da União Europeia e a Lei de Recuperação e Conservação de Recursos (ECRA) da Agência de Proteção Ambiental (EPA) dos Estados Unidos.

No Brasil, a gestão dos resíduos da construção civil (RCC) deve seguir as diretrizes, critérios e procedimentos estabelecidos pela Resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Essa resolução foi posteriormente complementada e aperfeiçoada por outras normas do mesmo órgão, como as Resoluções nº 348/2004, 431/2011 e 469/2015, que visam aprimorar o gerenciamento ambientalmente adequado desses resíduos.

A Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), determina que as empresas da construção civil elaborem e implementem o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Construção Civil (PGRSCC). Essa lei define como prioridades a não geração, a redução, a reciclagem, o tratamento e a disposição final ambientalmente adequada dos resíduos.

A Resolução CONAMA nº 307/2002 estabelece os parâmetros e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, bem como a classificação dos resíduos, a responsabilidade dos geradores e as formas corretas de descarte. Já a Resolução nº 348/2004 introduziu o amianto e suas diversas formas na categoria de resíduos perigosos, com o objetivo de proteger o meio ambiente e a saúde pública, considerando os riscos de doenças como asbestose e câncer de pulmão. Essa normativa determina que o material contendo amianto seja coletado, transportado, armazenado e descartado de acordo com a legislação ambiental vigente, de modo a minimizar os riscos à saúde humana e ao ambiente (BRASIL, 2002; BRASIL, 2004; BRASIL, 2010; BRASIL, 2011; BRASIL, 2015).

A Resolução CONAMA nº 431/2011 alterou e complementou a Resolução nº 307/2002, ao definir critérios mais detalhados para a classificação dos resíduos de RCC e estabelecer novos procedimentos para o seu gerenciamento. Essa normativa considera como resíduos da construção civil aqueles provenientes de obras de construção, reformas, reparos, demolições, bem como os gerados nas etapas de preparação e escavação de terrenos.

A resolução também determina critérios de classificação dos resíduos conforme sua natureza e potencial de perigo, orientando quanto às etapas de coleta, transporte, armazenamento, tratamento e destinação final. Além disso, incentiva a reciclagem e o reaproveitamento dos materiais, promovendo a destinação ambientalmente adequada dos resíduos. Outro ponto importante abordado pela norma refere-se à necessidade de licenciamento ambiental e ao uso de áreas específicas para reciclagem e triagem, de forma a garantir uma gestão eficiente e sustentável dos Resíduos da Construção e Demolição (RCC) (BRASIL, 2011).

A Resolução CONAMA nº 469/2015 incluiu as embalagens de tintas imobiliárias, vazias ou com resíduos internos secos, como resíduos da Classe B, ou seja, passíveis de reciclagem. A norma também determina a implementação de um sistema de logística reversa para essas embalagens, em conformidade com a Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e orienta sobre a gestão ambientalmente adequada dos resíduos gerados pela construção civil (BRASIL, 2010; BRASIL, 2015).

A construção civil no Brasil é regulamentada por diversas leis e normas, com o objetivo de promover a sustentabilidade e o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Entre elas destacam-se: a Lei nº 6.938/1981 (Política Nacional do Meio Ambiente), a Lei nº 12.305/2010 (PNRS), a Resolução CONAMA nº 307/2002, que trata da gestão de resíduos da construção civil, e a ABNT NBR 15575, que estabelece critérios de desempenho para edificações e incentiva práticas sustentáveis no setor (BRASIL, 1981; BRASIL, 2002; ABNT, 2013).

Na Tabela 3, destacou-se as legislações e as normas principais para a construção civil por meio a consulta a legislações, resoluções e normas diretamente nos portais oficiais do Governo Federal, CONAMA e ABNT. Foram selecionados apenas documentos atualizados e reconhecidos pelo setor, considerando sua relevância para a gestão de resíduos e para as práticas sustentáveis na construção civil:

Tabela 3 - Legislação e Normas Principais.

Lei nº 6.938/81 (Política Nacional do Meio Ambiente)	Define os objetivos e mecanismos para a proteção ambiental e inclui a preservação da qualidade do ar, água e solo
Lei nº 12.305/10 (Política Nacional de Resíduos Sólidos)	Regula a gestão de resíduos sólidos, com a inclusão dos RCC, incentiva a redução, reutilização e reciclagem. Define os princípios, objetivos e instrumentos da PNRS, como a responsabilidade compartilhada, a logística reversa e a prioridade na gestão de resíduos.
Resolução CONAMA nº 307/2002	Estabelece critérios e procedimentos para a gestão de RCC, incluindo a classificação, coleta, transporte, tratamento e destinação final. Ela busca garantir uma gestão integrada dos resíduos da construção civil, visando benefícios sociais, econômicos e ambientais.
ABNT NBR 15575	A Norma define os critérios de desempenho para edificações residenciais, com inclusão de aspectos como segurança, conforto térmico e acústico, e critérios para a utilização de materiais e recursos naturais de forma sustentável.
Lei nº 9.433/97 (Política Nacional de Recursos Hídricos):	Regula o uso e gestão dos recursos hídricos, prevenção de poluição e o uso eficiente da água na construção.
Lei nº 12.651/12 (Código Florestal):	Protege as áreas florestais e estabelece regras para o uso de madeira e outros materiais florestais na construção.
Agenda 2030 e ODS:	A Agenda 2030 da ONU estabelece 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que são utilizados como referência para a promoção de práticas sustentáveis em diversos setores, incluindo a construção civil.

Fonte: A Autora, 2025– baseado nos dados do CONAMA, disponível em: <https://conama.mma.gov.br>. Acesso em 29 abr. 2025.

A aplicação da legislação e normas visam promover a sustentabilidade e a gestão responsável dos recursos naturais, com o objetivo de contribuir para o cumprimento dos ODS.

Para isso, deve-se buscar a redução do uso de recursos naturais, da emissão de poluentes e da geração de resíduos, com práticas sustentáveis na construção civil, como o uso de materiais reciclados e a implementação de sistemas de gestão de água e energia, que reduzem custos. Além disso, é importante que se construa edifícios mais eficientes, com melhor conforto térmico e acústico, para dar uma melhor qualidade de vida aos moradores (Bohana *et al.*, 2019).

Além das principais leis e resoluções, há outras normas e regulamentações estaduais e municipais, que complementam a legislação federal, estabelece exigências adicionais ou mais rigorosas para a gestão de RCC em cada região (Bohana *et al.*, 2019).

Ressalta-se que a PNRS, com as normas complementares, visa transformar a gestão de resíduos da construção civil, para torná-la mais eficiente, sustentável e ambientalmente responsável, de modo a contribuir para redução dos impactos negativos do setor no meio ambiente (Bohana *et al.*, 2019).

Os objetivos são de minimizar a geração de resíduos com o incentivo a práticas construtivas, que reduzam a quantidade de resíduos gerados, como o uso de materiais sustentáveis e a otimização do processo de construção; promover a reutilização e reciclagem de materiais em outras construções e a reciclagem dos resíduos, como a utilização de agregados reciclados no concreto e a recuperação de materiais como madeira e metais; garantir a destinação final adequada dos resíduos que não podem ser reutilizados ou reciclados, como a utilização de aterros sanitários ou a transformação em outros produtos; implementar a logística reversa com a definição das responsabilidades dos fabricantes, distribuidores e consumidores na gestão dos resíduos, como a coleta e o tratamento dos resíduos da construção civil; e promover a educação e conscientização, para sensibilizar a população e os profissionais da área da construção civil sobre a importância da gestão adequada dos resíduos e da adoção de práticas sustentáveis (Bohana *et al.*, 2019).

Paulino *et al.* (2023) comentam que a Resolução Conama nº 307/2002, impulsionou o setor de reciclagem dos resíduos de construção e demolição no Brasil. O documento passou a estabelecer que grandes empreendedores, públicos e

privados, desenvolvessem um plano de gestão, para minimizar os impactos ambientais gerados por esses resíduos, com diretrizes com foco voltado para a reutilização, reciclagem ou outra destinação correta dos materiais.

No cenário internacional, Bohana *et al.* (2019) citam a Diretiva 2008/98/CE da União Europeia- UE e Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – EPA, que, também, estimulam a redução dos resíduos na fonte, como ação prioritária na gestão dos resíduos. A UE (2018) através da Diretiva 2018/851 aprimorou a hierarquia de gestão de resíduos, a partir da classificação de várias estratégias de gerenciamento, que possibilitem a preservação do meio ambiente.

Bohana *et al.* (2019) comentam que a EPA (2019), com relação à gestão de RCC, inclui como medida de redução de resíduos, a preservação de edifícios existentes para evitar novas construções; a otimização do tamanho dos novos edifícios; criação de edifícios com adaptabilidade com o objetivo de prolongar sua vida útil. Além disso, aponta a necessidade de novos métodos de construção, que facilitem o desmonte e a reutilização de materiais, através de técnicas alternativas de enquadramento a redução de acabamentos interiores, dentre outros, e outras práticas da redução de origem dos RCC, que evitem excessos de materiais e embalagens de produtos que chegam ao canteiro de obras.

4.5 RECICLAGEM DE RCC

Os autores de Cunha *et al.* (2023) afirmam que desde a década de 1990, é crescente o número de RCC nas cidades brasileiras, que são provenientes da construção de infraestrutura urbana e, em busca de minimizar os impactos desses resíduos no meio ambiente, foram estabelecidas diversas políticas públicas. Torna-se fundamental que haja uma gestão dos RCC, com a implementação de políticas adequadas e com supervisão, pois somente a aplicação de multas não se consegue controlar o descarte ilegal.

Os RCC, segundo Paschoalin-Filho *et al.* (2018) e Cunha *et al.* (2023), são fonte de recursos renováveis e a sua reciclagem ajuda na conservação das matérias-primas, e a reciclagem desses materiais é indispensável para criar uma estratégia de gestão adequada, que considere os custos associados à recolha, transporte e reciclagem. Os autores comentam sobre a importância de criar e efetivar um sistema de gestão projetado para que se encoraje as práticas sustentáveis, que considerem os impactos negativos dos RCC no ambiente, e apontem os benefícios da reciclagem com a participação dos departamentos governamentais e empreiteiros de construção.

Não basta direcionar os RCC para aterros, pois tal atitude não é eficaz, não considera os sérios impactos ambientais e uso desnecessário do solo.

Os autores de Cunha *et al.* (2023) ressaltam que a implementação de sistema de reciclagem dos RCC com uma gestão adequada, pode se configurar como um vetor estratégico para o desenvolvimento econômico sustentável. A reutilização e a reciclagem são fundamentais para se gerenciar de forma sustentável os RCC, mas é relevante que se criem medidas para reduzir a produção de resíduos. Os autores citam um estudo sobre a reciclagem de resíduos de concreto e tijolo em Bangladesh, que contribui com 44,96 milhões de dólares/ano para a economia.

Com relação aos diversos tipos de materiais recicláveis, Beraldo (2022) salienta que, de acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos 2021, divulgado pela Abrelpe, o Brasil contabilizou 27,7 milhões de toneladas anuais de resíduos recicláveis. Esses materiais incluem: plásticos (16,8%, com 13,8 milhões de toneladas por ano), papel e papelão (10,4%, ou 8,57 milhões de toneladas anuais), vidros (2,7%), metais (2,3%) e embalagens multicamadas (1,4%).

Esses dados mostram o potencial do comércio de materiais recicláveis no Brasil, e Beraldo (2022) comenta que para a regulação do setor, o governo federal lançou o programa Recicla+ em 2022, que incentiva a reciclagem e a economia circular no Brasil. Para as empresas participarem, devem adquirir o Certificado de Crédito de Reciclagem (CCR), deverão cumprir as obrigações de logística reversa e promover a destinação adequada dos resíduos pós-consumo.

Com isso, o governo busca incentivar a reciclagem e a economia circular no Brasil, que traz alguns benefícios como: aumentar a renda de catadores de materiais recicláveis; contribuir para a preservação do meio ambiente, reduzir o desperdício de resíduos, permitir que as empresas cumpram suas obrigações ambiental, potencializar a cadeia de reciclagem, e incentivar investimentos privados. As empresas que não têm sistemas próprios de logística reversa podem comprar CCRs para comprovar que os seus produtos foram destorcidos adequadamente (Brasil, 2022).

O Programa Recicla+, de créditos para a reciclagem, visa estimular esse mercado, com injeção de investimentos privados na reciclagem, e o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), com metas para os próximos 20 anos para a reciclagem de materiais, valorização, aproveitamento de resíduos, com meta de 50% de aproveitamento, em 20 anos (Brasil, 2022).

De forma consolidada, o marco legal brasileiro impõe ao gerador de RCC uma série de responsabilidades que moldam a viabilidade de uma usina em canteiro. A Resolução CONAMA nº 307/2002, ao classificar os resíduos, cria a premissa operacional da segregação na fonte, condição essencial para garantir a qualidade da matéria-prima da reciclagem. A PNRS (Lei nº 12.305/2010), por sua vez, estabelece a responsabilidade compartilhada e a logística reversa como instrumentos que incentivam economicamente a internalização do tratamento de resíduos. Finalmente, para que o agregado reciclado produzido seja efetivamente reintroduzido na cadeia construtiva, ele deve assegurar o desempenho dos sistemas em que será aplicado, dialogando com os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 15575 (Norma de Desempenho), que indiretamente baliza a aceitação de materiais alternativos ao garantir a durabilidade e segurança das edificações.

Figura 2 - Linha do Tempo da Legislação e Políticas Públicas Relacionadas aos Resíduos da Construção Civil (RCC).



Fonte: Autor, 2025.

4.6 CARACTERIZAÇÃO TÉCNICA DA USINA PÚBLICA DE JUIZ DE FORA

Juiz de Fora, localizada na Zona da Mata Mineira, possui área territorial de 1.435,75 km² e população estimada em 540.756 habitantes em 2022, segundo o IBGE. Com densidade demográfica de 376,64 hab/km², o município destaca-se como polo regional de serviços, comércio e infraestrutura urbana. A cidade apresenta escolarização elevada entre crianças de 6 a 14 anos (98,97%), demonstrando bons indicadores sociais. Essa configuração urbana e populacional torna Juiz de Fora um

cenário relevante para estudos de sustentabilidade, economia circular e gestão de resíduos da construção civil (IBGE, 2025).

Diante do cenário contemporâneo caracterizado pelo consumismo excessivo e pelo consequente aumento na geração de resíduos sólidos que, na maioria das vezes, é descartado de forma inadequada, ocasionando poluição e degradação ambiental (Bassi e Lopes, 2017), o município de Juiz de Fora apresenta potencial para contribuir significativamente na mitigação desses impactos por meio da adoção de práticas sustentáveis.

A construção civil em Juiz de Fora – MG desempenha um papel crucial no desenvolvimento econômico e social, com grande geração de empregos, movimentando diversos segmentos da economia local, como o de materiais de construção, transporte e serviços. Mas, ao mesmo tempo, acarreta o problema do descarte irregular e inadequado de resíduos produzidos, que causa impactos negativos no meio ambiente como poluição e proliferação de vetores de doenças (Paulino *et al.*, 2023).

O município de Juiz de Fora – MG constitui um reflexo do desafio nacional de preservação do meio ambiente, pois apresenta expansão contínua do setor imobiliário e pela ausência de políticas públicas integradas de gestão de resíduos da construção civil. Tal contexto evidencia a necessidade de soluções estruturadas, pautadas nos princípios da economia circular, quais sejam: a redução na geração de resíduos, a reutilização e o reaproveitamento de materiais, bem como a reciclagem e a valorização dos recursos já existentes. A adoção desses princípios visa não apenas minimizar os impactos ambientais negativos, mas também estimular uma transição para modelos produtivos sustentáveis, capazes de conciliar crescimento econômico e preservação ambiental.

Diante desse contexto, torna-se essencial avaliar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de usinas de reciclagem de resíduos da construção civil (RCC), sobretudo em municípios de médio porte, como Juiz de Fora.

A análise dessa viabilidade possibilita identificar alternativas eficientes de gestão sustentável, reduzir os custos operacionais das empresas do setor da construção e fomentar o mercado de agregados reciclados. Dessa forma, contribui-se para o fortalecimento dos princípios da economia circular e para a consolidação de cidades mais sustentáveis e ambientalmente responsáveis.

A presente pesquisa insere-se na perspectiva de demonstrar o potencial do município de Juiz de Fora para a adoção de políticas públicas alinhadas à Agenda

2030 e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que constituem um plano global de ação estabelecido pela Organização das Nações Unidas (ONU) com a finalidade de promover um meio ambiente equilibrado e inclusivo até o ano de 2030.

Nesse sentido, a implantação de iniciativas voltadas à reciclagem dos RCC em Juiz de Fora apresenta-se não apenas como uma alternativa tecnicamente e economicamente viável, mas também como uma estratégia estruturante para o avanço em direção ao cumprimento dos ODS e para a consolidação de políticas públicas sustentáveis no âmbito municipal.

De acordo com o Portal de Notícias, informação do site da Prefeitura -disponível em <https://www.pjf.mg.gov.br> - PJF (2024), Juiz de Fora é importante destacar que os dados fornecidos referem-se à coleta seletiva de resíduos recicláveis urbanos, e não aos resíduos da construção civil (RCC). De acordo com informações divulgadas pela Prefeitura o município afirma possuir 100% de cobertura da coleta seletiva, o que significa que o serviço está disponível em todas as regiões da cidade, embora não atenda todas as vias individualmente nem siga as mesmas rotas da coleta domiciliar comum. Atualmente, o atendimento alcança mais de 530 mil habitantes em cerca de 450 bairros e localidades, por meio das operações realizadas diariamente pelo Demlurb.

A cidade lidera o *ranking* mineiro em oferta do serviço de coleta seletiva, quando comparado aos municípios com mais de 200 mil habitantes. Em 2023, a cobertura da coleta seletiva foi ampliada de 62% para 90% da população e, em 2024, atingiu 100%.

A Prefeitura de Juiz de Fora segue os ODS 11 e 13 da Organização das Nações Unidas (ONU), que objetivam tornar as cidades sustentáveis com a implementação de medidas para a preservação do meio ambiente e de combate à mudança climática. O decreto nº 14.568, de 31 de maio de 2021 (PJF, 2021), dispõe sobre o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Juiz de Fora - PMGIRS/JF. Nele, instituiu-se o Grupo de Trabalho Interinstitucional de Acompanhamento da sua Implementação. Com isso, a iniciativa de coleta seletiva em Juiz de Fora integra o conjunto de ações do PMGIRS em busca de diminuir a geração de resíduos sólidos. Além disso, a prefeitura toma outras iniciativas e faz parcerias para a gestão de resíduos e, os dados de 2022 e 2023 mostram que, como reflexo das ações implantadas, houve um aumento de 64% na quantidade de resíduos destinados à reciclagem na cidade (Portal de Notícias – PJF, 2024).

A Lei Orgânica do Município de Juiz de Fora considera as disposições da Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e estabelece a elaboração dos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos.

O plano foi referendado em Audiência Pública específica, realizada em 25 de novembro de 2020¹. Institui-se no art. 2º o Grupo de Trabalho Interinstitucional de Acompanhamento da Implementação do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Juiz de Fora (GTI-PMGIRS/JF), que acompanhará o monitoramento, a avaliação, a implementação e a revisão do plano, integrado. Os representantes dos órgãos são: o Departamento Municipal de Limpeza Urbana - DEMLURB, a Secretaria do Governo - SG; a Secretaria de Planejamento do Território e Participação Popular – SEPPPOP, a Secretaria de Sustentabilidade em Meio Ambiente e Atividades Urbanas – SESMAUR, a Secretaria Especial de Direitos Humanos – SEDH e a Secretaria de Planejamento Urbano - SEPUR.

Segundo o Demlurb (2024), em 2024, foram inaugurados dois novos ecopontos: um no bairro Nova Benfica e outro no bairro Retiro. Neles, há entrega voluntária e ambientalmente correta de resíduos volumosos, como: restos da construção civil, resíduos de jardinagem e poda, materiais recicláveis, móveis, eletrodomésticos e itens eletrônicos. Com a adição dessas unidades, a cidade passou a contar com cinco ecopontos, incluindo a revitalização do Ecoponto Oeste, localizado no bairro Aeroporto. As instalações estão distribuídas por quatro diferentes regiões da cidade, ampliando as opções para o descarte adequado de materiais. Os ecopontos funcionam de segunda a sexta-feira, das 8h às 17h, e aos sábados, das 8h às 12h e cada cidadão pode descartar gratuitamente até um metro cúbico de resíduos por dia, que equivale a dez sacos de cem litros.

Segundo a Prefeitura de Juiz de Fora (2024), além disso, no município, há um projeto denominado ‘Coleta Seletiva na Praça’², iniciado em maio de 2023, e recebe

¹ A íntegra do PMGIRS/JF está disponível no endereço eletrônico https://www.pjf.mg.gov.br/secretarias/sepur/planos_programas/pmgirs/index.php. Acesso em 23 nov. 2025.

² PREFEITURA DE JUIZ DE FORA. *Juiz de Fora se torna referência em coleta seletiva com 100% de cobertura para seus mais de 530 mil habitantes*. RCWTV, 27 nov. 2024. Disponível em: <https://www.rcwttv.com.br/noticia/juiz-de-fora-se-torna-referencia-em-coleta-seletiva-com-100-de-cobertura-para-seus-mais-de-530-mil-habitantes?srsId=AfmBOorNsTZRDJHw-PF0fm7J6kJ1JVwOe7YGbJAPWnvWmCibklcjtQT1>. Acesso em: 22 out. 2025.

resíduos recicláveis na Praça Dr. João Penido, com diversas parcerias, dentre elas as associações de catadores de materiais recicláveis credenciadas junto ao município. Esse projeto contribui para a preservação do meio ambiente e, proporciona uma renda financeira para mais de 70 famílias.

Juiz de Fora também se preocupa com a Educação Ambiental e, através do Demlurb, firmou convênio com a Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) para a execução do projeto de extensão “Recicle” e, em parceria com a Secretaria de Educação (SE), 10 escolas municipais fazem parte dessa iniciativa, que se expandiu e já conta com 24 instituições com a participação da Secretaria de Sustentabilidade em Meio Ambiente e Atividades Urbanas (Sesmaur). O projeto “Recicle” trabalha temas de sustentabilidade, coleta seletiva, responsabilidade compartilhada, economia circular e sociedade.

A partir dessas informações, e ao se comparar os indicadores de desempenho e sustentabilidade em cidades inteligentes, conforme Oliveira e Vieira (2023), percebe-se que a cidade de Juiz de Fora tem procurado realizar estratégias que a coloquem entre as cidades inteligentes, com práticas sustentáveis.

De acordo com o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil (PIGRCC, 2010-2017), a usina de reciclagem (UR) é considerada um dos seus principais pilares, pois com ela há a possibilidade de reinserção dos materiais que sobram em construções, demolições e reformas. Desses materiais, são utilizados os agregados reciclados em bases de estrada, na fabricação de blocos de alvenaria e de argamassas, entre outras aplicações. Dessa forma, a usina contribui para reduzir o consumo de novos recursos naturais.

De acordo com o PIGRCCJF (2016), a usina de RCC de Juiz de Fora está localizada na Zona Norte, no bairro São Judas Tadeu, onde são reciclados os materiais provenientes da coleta seletiva realizada pela Demlurb, conforme a Figura 3:

Figura 3 - Mapa da Localização da Usina de RCC



Fonte: Autor, 2025 e Google Earth.

Sua produção é de 6.000 m³, e estima-se que são gerados de 700 a 1.000 toneladas por dia de massa total de RCC. Desses materiais, são utilizados os agregados reciclados em bases de estrada, na fabricação de blocos de alvenaria e de argamassas, e outras aplicações, e essa forma, ela contribui para reduzir o consumo de novos recursos naturais.

Para desenvolver o trabalho de reciclagem são utilizados 01 britador primário, 01 britador secundário, 01 peneira com 3 decks, 07 correias transportadoras, 01 pá carregadeira, que permitem a recuperação de concreto, tijolos, metais e outros materiais recicláveis

O processo produtivo é realizado em quatro etapas: na primeira, o RCC classe A que são os resíduos que podem ser triturados é lançado no britador primário por uma pá carregadeira e, após ser triturado, segue por correia transportadora para formar a primeira pilha de agregado reciclado. Na segunda etapa, esse material cai em uma cavidade abaixo do nível do solo e embaixo da pilha, chamado "pulmão", onde é captado por uma correia e levado a uma peneira, que possui três decks, isto é, três peneiras. A superior é de malha quadrada mais aberta e diminui até a peneira inferior. Na terceira etapa, o material que ficou retido na primeira peneira sai até uma correia para o britador secundário, que irá triturá-lo novamente, por meio de uma

correia. Em seguida, o material resultante desta segunda britagem cai novamente na peneira, circula entre a peneira e o britador secundário até chegar a um diâmetro menor que a peneira superior e cair na segunda peneira. Na quarta etapa, esse material que passou nas três peneiras é conduzido separadamente através de três correias para três pilhas, que acumularão as quantidades produzidas para comercialização.

Segundo Paulino *et al.* (2023), os resíduos da classe A, como tijolos, concreto, argamassa, pedras e cerâmicas, podem ser reciclados e transformados em brita, pedrisco ou areia para aplicação na construção de pavimentos e obras públicas. Esses materiais representam o foco estratégico da proposta de reciclagem e podem substituir agregados naturais, promovendo benefícios ambientais e econômicos.

De acordo com essa resolução (CONAMA, 2002), são quatro classes de RCC:

Classe A: resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados (ex.: tijolos, concretos, argamassas e solos).

Classe B: resíduos recicláveis para outras destinações (ex.: plásticos, papéis, metais, vidros e madeiras).

Classe C: resíduos para os quais ainda não há tecnologia ou aplicação viável para reciclagem.

Classe D: resíduos perigosos (ex.: tintas, solventes, amianto e materiais contaminados).

As usinas de reciclagem podem ser classificadas como fixas ou móveis. As usinas móveis vêm crescendo no Brasil a partir de projetos apoiados pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Essas unidades são capazes de atender a diversos municípios, sendo facilmente transportadas, o que facilita a realização de consórcios intermunicipais e amplia a acessibilidade à tecnologia de reciclagem. Apresentam vantagens operacionais como a criação de pilhas homogêneas de agregados reciclados e controle granulométrico para aplicação em pavimentos. As usinas móveis possuem três módulos: britagem, qualidade e moagem, com capacidades nominais de 80 m³/h e 8 m³/h, podendo operar diretamente em canteiros de obras. Entre os materiais recicláveis predominam os resíduos de classe A, considerados reutilizáveis ou recicláveis como agregados — alvenaria, concreto, argamassa, solo de terraplanagem, cerâmica (Paulino *et al.*, 2023).

Em 2019, a capacidade instalada das usinas de reciclagem de resíduos da construção civil (RCC) no Brasil era de cerca de 50 milhões de toneladas/ano, mas a produção efetiva não ultrapassou 20 milhões de toneladas/ano, evidenciando que o setor ainda opera abaixo de seu potencial. Naquele ano, havia aproximadamente 300 usinas em funcionamento, sendo 100 públicas e 200 privadas, enquanto o país gerava cerca de 100 milhões de toneladas/ano de RCC, considerando um índice médio de 500 kg/habitante/ano em municípios com IDH de 0,80. Essa diferença entre capacidade instalada e volume reciclado reforça a necessidade de ampliar a adesão à reciclagem e superar desafios técnicos, institucionais e logísticos, sobretudo em municípios como Juiz de Fora (ABRECON, 2019).

A usina pública de reciclagem de RCC de Juiz de Fora no bairro São Judas Tadeu foi implantada como uma iniciativa da administração pública municipal, com o objetivo de reduzir o envio de entulhos para o Aterro Controlado de Dias Tavares e incentivar o reaproveitamento de materiais com potencial de retorno ao ciclo produtivo urbano. A gestão da usina é realizada pelo DEMLURB, órgão responsável também pela coleta e transporte de resíduos sólidos domiciliares, volumosos e da construção civil em Juiz de Fora. Sua instalação buscou atender à crescente demanda por soluções ambientalmente adequadas para a destinação de RCC, especialmente após a promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), que estabelece a responsabilidade compartilhada entre geradores, prefeituras e empresas envolvidas no ciclo de vida dos resíduos.

Apesar de sua relevância estratégica, a usina ainda opera de forma limitada, sem integração plena com um plano municipal estruturado de gestão de RCC e com baixa visibilidade junto à população e ao setor da construção civil local (PREFEITURA DE JUIZ DE FORA, 2023).

Juiz de Fora, em 2010, realizou o PIGRCCJF, em parceria com a Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), que foi contratada com interveniência da Fundação de Apoio e Desenvolvimento ao Ensino Pesquisa e Extensão (Fadep), da UFJF, segundo o Termo de Referência relativo ao contrato no 01.2009.221. De acordo com esse plano, Juiz de Fora é capaz de gerar uma oportunidade promissora no negócio de reciclagem de resíduos, cujo segmento apresenta rápido crescimento e adquire maior visibilidade no mercado de todo o mundo.

Esse plano foi alterado em 2017 e, através dos dados, nele, contidos, há muitos elementos que corroboram a viabilidade de implantação da Usina de Reciclagem de

RCC em Juiz de Fora a partir de uma perspectiva ambiental e financeira. O plano destaca a importância da reciclagem de RCC para a sustentabilidade urbana e a redução de impactos ambientais. Esse documento mostra que a implantação de uma usina de reciclagem contribuiria para a geração de empregos e a diminuição dos custos com a disposição final dos resíduos

Apesar de não terem sido localizadas pesquisas específicas sobre o a cidade de Juiz de Fora, estudos recentes sobre municípios de médio porte demonstram que a implantação de usinas de reciclagem de resíduos da construção civil (RCC) pode reduzir substancialmente os custos de aquisição de materiais (como agregados reciclados), gerar emprego direto e indireto e aumentar receitas municipais. Por exemplo, o estudo de Almeida *et al.* (2025) ressaltam os benefícios econômicos e ambientais com a reciclagem de resíduos da construção civil e os impactos sociais relevantes com a criação de empregos diretos e indiretos, que podem contribuir para a redução da desigualdade social. O estudo de Paschoalin-Filho *et al.* (2019) discute a geração de valor econômico em múltiplas usinas de entulho e a adoção da economia circular e analisou a viabilidade econômico-financeira da instalação de usina de RCC com impacto local direto nos municípios. Considerando tais estudos, é possível afirmar que Juiz de Fora pode se beneficiar com a implantação de uma usina, pois já tem investido na reciclagem e na sustentabilidade ambiental.

De acordo com o Portal de Notícias – PJF (2016), foi criada a Usina de Linhares, na cidade, onde são reciclados diversos resíduos, como papel, plástico, vidro, metal, embalagens longa vida, eletroeletrônicos, resíduos de construção civil, entulhos em geral e móveis. No local só não é recebido o descarte de resíduos perigosos como pilhas, baterias e lâmpadas, que devem ser encaminhados para locais apropriados. Esse Ecoponto é administrado pela Prefeitura Municipal, por meio do DEMLURB, e é um ponto de entrega voluntária destinado ao descarte de pequenos volumes de resíduos e materiais recicláveis pelos moradores, os quais são posteriormente triados e encaminhados para processamento.

O PIGRCCJF apresenta um estudo detalhado sobre a viabilidade econômica da implantação e operação dessa usina, com projeções financeiras baseadas em dados estatísticos que indicam o potencial significativo e promissor de Juiz de Fora para o desenvolvimento do setor de reciclagem de resíduos. O estudo toma como referência modelos de negócios já implementados com sucesso em outras regiões do país, demonstrando a aplicabilidade e relevância da iniciativa para o contexto local.

De acordo com o PIGRCCJF (2016), o segmento da reciclagem tem crescido rapidamente e adquirido maior visibilidade no mercado de todo o mundo. No caso de Juiz de Fora, a viabilidade de implantação da Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil (URRCC) pode ser confirmada por conta do apelo ecológico de construção sustentável e, também, por proporcionar resultados financeiros positivos. O município pode obter ganhos com esse negócio e as empresas privadas participantes também.

Deve-se salientar que a reciclagem no município enfrenta um desafio, pois todas as categorias de resíduos são entregues ao transportador misturados, na mesma caçamba, sem triagem. Em busca de melhorar essa condição, deve-se criar um modelo de gerenciamento, que siga o cumprimento de normas, façam a triagem, acondicionamento e destinação correta dos RCC para que possam ser reusados e reciclados com relação a isso, observa-se que, na Usina de Linhares, são reciclados vários tipos de materiais além dos RCC, como papel, papelão, plástico, vidro e metais. Os RCC, como os de classe A, são britados e peneirados para serem reutilizados como matéria-prima na construção civil, em preparo de concreto, argamassa, areia, pedra e brita. Enquanto materiais como papel, papelão e plástico, metais e alumínio são comercializados. Os recursos da venda desses materiais são destinados à zeladoria da cidade, através do Fundo Municipal de Limpeza Urbana (PIGRCCJF, 2016).

De acordo com o PIGRCCJF (2016), para a criação de um projeto de implantação de uma usina de RCC, é preciso que a empresa ou pessoa física seja responsável pelo empreendimento e a elaboração deve ser feita por um profissional habilitado, inscrito no CREA/MG - Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia de Minas Gerais. Ressalta-se que o profissional não precisa ser do quadro da empresa, e pode ser um prestador de serviços contratado, que fará o PGRCC e a anotação de responsabilidade técnica correspondente ao trabalho junto ao CREA/MG e, em seguida, apresentá-lo à prefeitura.

Conforme o PIGRCCJF (2016), a Prefeitura de Juiz de Fora (PJF) tem uma estrutura organizacional, com órgãos e secretarias com potencial capacidade gerencial, técnica e operacional para as atividades de implantação de operação de usinas de reciclagem. Tanto na Administração Direta quanto na indireta (Agência de Gestão Ambiental de Juiz de Fora – Agenda-JF, Companhia de Saneamento e Meio Ambiente – Cesama, Demlurb e Empresa Municipal de Pavimentação – Empav). A

usina deve contar com um quadro de pessoal composto de engenheiro civil, técnico, encarregado, motorista, operador de máquina, mecânico, eletricista, secretário, ajudante, operador de máquina, encarregado, almoxarifes, pessoal da limpeza e outros.

A metodologia utilizada foi o cálculo do volume a partir de um modelo adotado por vários autores, com duas linhas: a soma dos volumes gerados por diferentes agentes; e através de cálculos indiretos, que consideram o número de habitantes, a área total de obras aprovadas pela prefeitura e a comparação com a massa total coletada de resíduos sólidos urbanos. Após medição com estimativas, cálculos e dados de quantidade de RCC levantados junto a transportadores e ao Departamento Municipal de Limpeza Urbana (Demlurb) em Juiz de Fora, foram registrados no Aterro na Barreira do Triunfo, a massa média de 142 t/dia, mas dados obtidos em entrevistas com agentes transportadores registram 250 a 300 t/dia (PIGRCCJF (2016),

Juiz de Fora tem um aterro na Barreira do Triunfo, em uma área particular, ao lado da rodovia BR 040, onde recebe o RCC dos grandes transportadores de forma regular e licenciados pela prefeitura. Há, também, um local de descarte chamado na Avenida Brasil, ao lado do prédio da sede administrativa da prefeitura, que é um importante ponto de deposição de resíduos. Neste local é feita uma triagem de plástico, papel e vidro com fiscalização do Demlurb. Devido à sua localização, a prefeitura considera essa área fundamental para o funcionamento do sistema que lá é desenvolvido.

A cidade conta, ainda, com agentes privados transportadores, em torno de 21 empresas, que transportam o RCC recolhido das obras (grandes geradores) em caminhões poliguindaste (aproximadamente 400), e fazem o descarte na Barreira do Triunfo.

A partir de abril/2010, a destinação final dos resíduos gerados e transportados por empresas e órgãos públicos passou a ser no Centro de Tratamento de Resíduos, localizado na Fazenda Barbeiro - Km 770 da Rodovia BR-040, próximo à cidade de Dias Tavares.

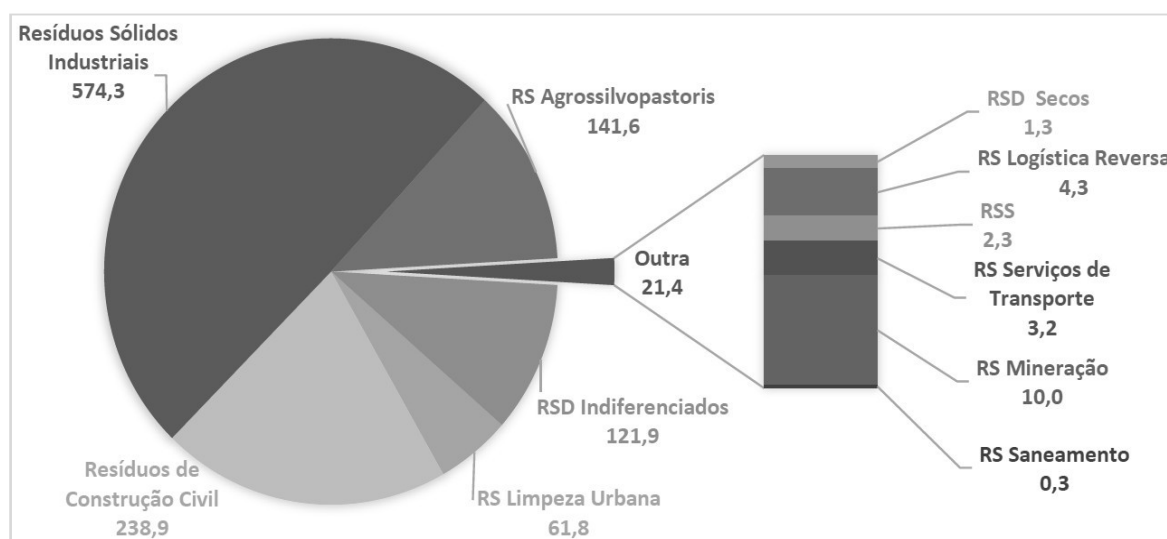
Na cidade de Juiz de Fora, faz-se necessário um diagnóstico da geração e destinação de RCC para que sejam implementadas soluções eficazes, analisar as características e volumes desses resíduos, as práticas de descarte e os atores envolvidos, como reduzir a geração na fonte, o que pode ser reutilizado e reciclado e quais os resíduos que devem ir para aterros licenciados (Pereira, 2017). A

responsabilidade por uma gestão adequada dos RCC deve envolver o poder público, as empresas e a população.

De acordo como Demlurb (2018), os resíduos gerados em Juiz de For totalizaram 1.160 mil toneladas ao ano, correspondendo a 3.718 toneladas diárias. O indicador de geração per capita de resíduos domiciliares é de 0,70 kg por habitante ao dia e o indicador geral de geração de resíduos sólidos é de 6,59 kg por habitante ao dia. A Figura 2 mostra os dados de Juiz de Fora.

Pesquisa realizada por Pereira (2017) apresenta dados sobre as duas usinas que operam em Juiz de Fora em áreas da prefeitura: uma no bairro Linhares e outra no bairro Aeroporto, sob a responsabilidade de uma empresa privada, que ganhou o processo de licitação. Nelas, os resíduos são separados em quatro caçambas metálicas com capacidade de 4m³: para entulhos e podas, classes A e B respectivamente e há baias de separação dos materiais como madeiras, plásticos, papelão e outros, que são possíveis de serem reciclados. Os resíduos das caçambas metálicas seguem para a Central de Tratamento de Resíduos (CTR) e dispostos no Aterro de Inertes, enquanto os de classe B (madeiras e recicláveis) são disponíveis para doações e o excesso segue para a deposição final.

Figura 4 - Geração de resíduos sólidos no território de Juiz de Fora (milhares t/ano).



Fonte: DEMLURB, 2018; FEAM, 2018; PNRS; 2018; I&T, 2018.

Pereira (2017) comenta que é feita a classificação dos resíduos de acordo com a Resolução Conama nº 307/2002 e 348/2004 para, em seguida, levá-los para os Ecopontos, onde se observou que na unidade do bairro Aeroporto foi crescente a

quantidade de resíduos e o número de viagens recebidas, com 325 viagens em março de 2017, o que significa o aumento de 186 viagens em relação a outubro de 2016. Na unidade do bairro Linhares, o volume de resíduos e o número de viagens recebidas, em março de 2017 foi de 182 viagens. A autora registou que houve predominância de resíduos classe A sobre os de classe B nos dois Ecopontos avaliados, o que mostra maior número de resíduos provenientes da construção civil, os quais poderiam voltar à cadeia produtiva depois de passar pela Usina de Reciclagem.

Na pesquisa, Pereira (2017) constatou, também, que houve uma diferença considerável entre os volumes de entrada e saída de resíduos nas duas unidades, e a maior diferença foi registrada na unidade do bairro Aeroporto, com 81,26 m³ no mês de outubro de 2016. E, no Ecoponto Linhares, houve uma maior discrepância entre dados de entrada e saída, sendo a maior no mês de fevereiro de 2017 (275,5 m³). Segundo Pereira (2017), isso pode ter ocorrido devido a problemas de gestão. Os resultados apontaram, também, nesse período de estudo, foram retirados 2550 m³ de resíduos dos Ecopontos: no de Linhares (1470 m³) e no Aeroporto (1080 m³).

Segundo Pereira (2017), outro dado importante refere-se à origem dos materiais que chegam aos ecopontos, de quais das 7 regiões urbanas de Juiz de Fora eles vêm: Norte, Centro, Nordeste, Oeste, Leste, Sul e Sudeste. O Ecoponto Aeroporto, recebeu da região Oeste, onde se localiza, a maior quantitativo de viagens, com mediana próxima a 90; e no Ecoponto Linhares, a região Leste, onde se localiza, teve uma mediana entre 25% e 75%. Esse fato pode ser explicado porque as demais regiões estão distantes dos ecopontos o que dificulta realizar a viagem.

Diante do exposto por Pereira (2017), pode-se afirmar que em Juiz de Fora, há muito a se fazer para se tratar dos RCC e a cidade necessita de mais usinas de reciclagem, pois a construção civil é muito atuante e produz muitos resíduos, que poderiam ser reciclados e reutilizados.

Esse panorama local, inserido em uma realidade nacional crítica e em comparação com outras cidades de porte semelhante, reforça a urgência de se implementar soluções estruturadas e inovadoras, como uma usina municipal de reciclagem de RCC, alinhada aos princípios da economia circular e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), além de incentivos para que as construtoras montem suas próprias usinas a fim de evitar grandes sobrecargas em aterros.

Nesse contexto, a proposta de uma análise integrada de viabilidade insere-se no esforço de modernização da gestão dos resíduos sólidos urbanos, contribuindo

para o fortalecimento de práticas de planejamento urbano sustentável. Do ponto de vista científico, a pesquisa alinha-se às agendas contemporâneas de cidades inteligentes e sustentáveis, ao reconhecer a economia circular como uma estratégia essencial para a transição ecológica dos centros urbanos e para a consolidação de modelos de desenvolvimento mais eficientes no uso de recursos.

Outro aspecto relevante é a localização geográfica de Juiz de Fora, que combina áreas urbanizadas e rurais e concentra atividades industriais, hospitalares e de construção civil. Essa configuração complexa aumenta os riscos ambientais e evidencia a necessidade de soluções integradas de gestão de resíduos. Apesar da existência de uma usina de reciclagem, a cidade ainda carece de uma política pública estruturada e efetiva voltada à integração sistêmica da reciclagem de RCC ao planejamento urbano e à estratégia de sustentabilidade municipal.

Como parte dos esforços pontuais já realizados, Juiz de Fora conta com uma usina de reciclagem, que produz agregados para construção civil a partir de resíduos classe A (cimento, argamassas e de componentes cerâmicos), bem como com unidades de recebimento de pequenos volumes (URPVs). A cidade conta, também, com cinco ecopontos para coleta de resíduos da construção civil e outros materiais recicláveis, localizados nos bairros Aeroporto, Barbosa Lage, Nova Benfica, Parque das Águas e Retiro, que são de responsabilidade do Demlurb. Além disso, Juiz de Fora tem uma forte oferta de coleta seletiva, que inclui a coleta na praça João Penido, em parceria com associações de catadores.

No município de Juiz de Fora, a movimentação de resíduos da construção civil (RCC) e as atividades relacionadas ao seu licenciamento ambiental estão amparadas por legislações específicas que orientam o manejo e a destinação adequada desses materiais. De acordo com o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.

Para efeito de movimentação de resíduo de construção civil (RCC) e licenciamento ambiental de atividade ligada a este tipo de material, existem hoje:

- Lei nº 10.076 (de 30 de outubro de 2001), que dispõe sobre a movimentação de terra no município.

– Deliberação Normativa Codema nº 17/03 (de 9 de janeiro de 2004), que dispõe sobre normas específicas para licenciamento ambiental para a atividade de movimentação de terra e afins (PJF, 2010, p. 28).

Com relação à classificação e destinação/tratamento dado ao resíduo de construção civil:

– Lei 11.232 (de 11 de outubro de 2006) - Institui a Taxa de Coleta de Resíduos Sólidos - TCRS e dá outras providências: Art. 3º Consideram-se resíduos sólidos, para efeito de quantificação do tributo de que se trata o art. 1º desta Lei, aqueles cujo volume por coleta não ultrapassem 200 (duzentos) litros ou 100 (cem) quilogramas, ficando excluídos desta classificação: [...]

IV - Entulhos, terras e resto de materiais de construção. § 1º Os geradores dos resíduos relacionados nos incisos I a V deste artigo são considerados grandes geradores e poderão os resíduos ser transportados pelos interessados para local previamente designado pelo ente gerenciador dos serviços públicos de coleta de resíduos da municipalidade ou coletados por este ente, mediante a cobrança de Preço Público específico, fixado por ato do Poder Executivo (PJF, 2010, p.29-30).

Já o Decreto nº 9117, de 1º de fevereiro de 2007 que regulamenta a Lei nº 11.197, de 03 de agosto de 2006, dá outras providências, quais sejam:

Art. 10. Lixo especial é todo resíduo considerado como não-urbano, conforme definido em legislação específica, assim caracterizado:

[...] IV - entulho oriundo de pequenas obras de reforma, demolição, ou ainda construção, de classes A, B, ou C, de habitações familiares;

V - Resíduos da construção civil, tais como: terra e vegetação provenientes de escavações, tijolos, blocos, concretos em geral, rochas, telhas, placas de revestimento, argamassa, gesso, forros, madeiras e compensados, papel e papelão, pavimento asfáltico, meios-fios, metais, resinas, tintas, colas, óleos, vidros, plásticos, fiação elétrica e outros, ou aqueles perigosos oriundos de demolições [...]

[...] § 2º - Os geradores dos resíduos sólidos especiais, discriminados nas alíneas “a”, “b”, “c” e “d”, são considerados “grandes geradores”, ficam sujeitos às normas estabelecidas e obrigados a se cadastrarem no órgão municipal competente (PJF, 2010, p.29).

Para responder a essa demanda por soluções aplicadas e localmente embasadas, o presente estudo adota uma abordagem de caráter exploratório-descritivo, centrada em um estudo de caso detalhado. Por meio da modelagem de viabilidade técnica, econômica e ambiental, a pesquisa busca traduzir os princípios da economia circular em indicadores quantitativos e qualitativos, oferecendo uma análise concreta que possa subsidiar tanto a decisão de investimento por parte de agentes privados quanto a formulação de políticas públicas de incentivo no município.

Considerando o contexto urbano de Juiz de Fora, as práticas atuais de descarte de RCC, a existência de estrutura parcial de gestão e a ausência de uma política pública integrada, formula-se a seguinte hipótese central: a implantação de uma usina privada de reciclagem de RCC em Juiz de Fora é técnica, econômica e ambientalmente viável, e pode contribuir para a redução de impactos ambientais urbanos, para a melhoria da gestão pública de resíduos e para a promoção de práticas alinhadas à economia circular e aos ODS.

Segundo Munaro e Tavares (2022), a prática circular permite criar um ciclo inteligente para a reutilização dos resíduos gerados em suas operações, evitar o descarte inadequado e práticas insustentáveis. Na visão dos autores, essa mudança pode ocorrer através da criação de Unidade de reaproveitamento de resíduos (URE), com a incorporação de práticas que se preocupam com a questão ambiental, com a criação e desenvolvimento de ferramentas para reduzir o consumo de matérias-primas naturais nas atividades construtivas, e que sejam baseadas no conceito de Sustentabilidade. Deve-se ressaltar que o setor da Construção Civil no Brasil é de grande importância para o desenvolvimento do país e deve buscar uma economia mais ecológica e socialmente responsável.

De acordo com dados do Departamento de Limpeza Urbana (DEMLURB, 2022) e da Prefeitura de Juiz de Fora (PJF, 2024), o município produzia, em média, 500 toneladas de resíduos por dia, sendo a maior parte composta por resíduos domiciliares. Desse total, apenas cerca de 7 toneladas diárias correspondiam à coleta

seletiva, o que representava uma fração reduzida do volume geral de resíduos gerados.

Ainda segundo o DEMLURB (2024), a quantidade de materiais recicláveis coletados apresentou crescimento significativo nos últimos anos: foram 892 toneladas por mês em 2022 e 1.252 toneladas em 2023, o que equivale a um aumento de aproximadamente 40,3% no volume de recicláveis recolhidos no período, demonstrando avanços graduais nas ações de reciclagem e conscientização ambiental no município.

Esse volume coloca Juiz de Fora entre os municípios de médio porte com alto potencial de reaproveitamento, especialmente no que se refere aos resíduos da Classe A: restos de concreto, argamassa, tijolos e materiais de pavimentação, que representam a maior parte dos descartes e podem ser reciclados e reinseridos no ciclo produtivo.

O objetivo da análise é que, com a criação da usina, pode-se reduzir, na cidade de Juiz de Fora, o envio de materiais dos RCC ao aterro e, assim, contribuir para a redução do impacto ambiental, da economia de recursos naturais e gerar novos empregos diretos e indiretos na região, pois a construção e operação de uma usina de reciclagem demandam mão de obra qualificada e impulsionam a economia local. Além disso, com sua instalação, haverá a diminuição da necessidade de aterros sanitários e promoverá práticas mais sustentáveis na construção civil.

Segundo dados apresentados no Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Juiz de Fora (PMGIRS, 2010) e em estudos técnicos sobre o tema, o município gera entre 700 e 1.000 toneladas de RCC por dia, provenientes tanto de grandes obras formais quanto de pequenas reformas e descartes irregulares.

[...] os cálculos são baseados em diferentes fontes e em diferentes critérios de medida e levantamentos, não é o caso adotar um valor médio de quantidade de RCC gerada na cidade, mas uma faixa de valores. Os números mostrados apontam a faixa de 700 a 1.000 toneladas por dia de RCC gerado em Juiz de Fora, coincidindo com o que fora citado na Tabela 2 para municípios brasileiros de porte médio. Considerando-se a densidade média do RCC igual a $1,2 \text{ t/m}^3$, a faixa adotada, em volume, corresponde a 580 a 830 metros cúbicos por dia. Vale também salientar que os números podem variar de acordo com

o ritmo de crescimento da cidade ou de acordo com o nível de atividade econômica da região e do país PIGRCC – Juiz de Fora, 2010, p. 64.

Devido à falta de dados específicos disponíveis sobre a Usina de São Judas Tadeu, fez-se um comparativo com o estudo de Lopes, Amaral e Soares (2019), em que procuraram verificar e analisar a viabilidade econômica para a instalação de uma usina de reciclagem de RCC em um município de médio porte.

Lopes, Amaral e Soares (2019) consideraram a taxa de geração de resíduos do município estudado relativamente alta: a estimativa dos cálculos considerou que a usina proposta receberia cerca de 320 t de RCC/dia, com a adoção de equipamentos com capacidade de processamento de 40 t/hora, com produção de agregados reciclados como areia, pedrisco, brita e rachão, com valor de mercado 67,9% mais barato que o agregado natural comercializado na região, o que justifica a compra do material. O comparativo é possível pois Juiz de Fora, em 2010 recebia entre 700 e 1.000 toneladas de RCC por dia de acordo com o PIGRCC (2010).

Segundo Lopes, Amaral e Soares (2019), o investimento da implantação da usina teve capital inicial de R\$ 1.246.660,32 com fluxo de gastos por ano no valor de R\$ 569.506,00 e o faturamento com o recebimento de RCC de R\$ 840.000,00 por ano. A estimativa de venda de agregados reciclados é de um faturamento anual crescente, de 85%, 88%, 90%, 93% e 95% dos agregados ao longo dos 5 (cinco) primeiros anos devido à conquista de mercado, e de 100% a partir do sexto ano. O cálculo dos indicadores de viabilidade financeira foi obtido um VPL de + 5.478.822,08, uma TIR de 103% e um *Payback* descontado de 1(um) ano e 28 (vinte e oito) dias, que mostrou que o investimento inicial seria recuperado em um período de tempo relativamente rápido. Constatou-se, assim que o investimento é viável.

Em relação ao estudo de Lopes, Amaral e Soares (2019), estima-se que a usina pública de RCC de Juiz de Fora tenha capacidade instalada para processar cerca de 6.000 m³ de resíduos por mês, embora a produtividade possa variar de acordo com o nível de contaminação dos materiais recebidos, a regularidade do transporte e a disponibilidade de pessoal e equipamentos.

Para a implantação de uma usina, segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (Abrecon, 2022), há

diversos desafios estruturais, institucionais e operacionais que comprometem sua eficiência e abrangência.

A baixa integração entre as usinas de RCCD e os programas municipais de obras públicas é um obstáculo significativo para o uso de agregados reciclados, apesar de seu potencial para aplicação em pavimentação, calçadas, contenções e infraestrutura leve (Abrecon, 2022). Outros entraves, segundo Diógenes (2021) e Silva e Silva R. (202) é a ausência de triagem dos resíduos na origem, o que resulta na entrega de materiais misturados, muitas vezes contaminados com resíduos da Classe D (gesso, tintas, colas, plásticos), inviabilizando seu reaproveitamento e exigindo reprocessamentos manuais que reduzem a produtividade.

Outro fator limitante é a baixa captação seletiva e a insuficiência de políticas municipais de incentivo ao uso de agregados reciclados em obras públicas ou privadas. Isso gera um ciclo vicioso: como não há demanda consolidada, os materiais reciclados permanecem armazenados ou são subutilizados, o que reduz o estímulo à produção e à melhoria da usina (Diógenes, 2021; Abrecon, 2022, Silva e Silva R., 2024).

Soma-se a isso, as limitações técnicas, como o desgaste de equipamentos, ausência de controle de qualidade nos produtos reciclados, falta de automação nos processos e escassez de mão de obra qualificada. E, no campo institucional, a falta de articulação entre os órgãos públicos de limpeza urbana, Secretaria de Obras e o setor privado da construção civil impede a construção de uma política sistêmica de economia circular, que poderia elevar o grau de reaproveitamento dos RCC nos municípios e reduzir o custo com destinação em aterros (Diógenes, 2021; Silva e Silva R., 2024).

De acordo com o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil de Juiz de Fora (2010), as empresas privadas podem participar do projeto como parceiras do município e podem obter ganhos. Entre as vantagens, destaca- a redução de custos com aquisição de agregados para construção civil, que ficam mais barato que o preço do mercado, aumento na arrecadação tributária para a cidade e geração de novos empregos diretos e indiretos são impactos imediatos à implantação da usina. A avaliação da viabilidade financeira da implantação de uma Usina de Reciclagem de RCC no Município de Juiz de Fora considera as obrigações legais e tributárias de uma instituição privada comum, e os benefícios obtidos pelas instituições públicas podem ser adicionados ao resultado do negócio. Ressalta-se que

esse plano financeiro foi elaborado em 2010, e fez-se uma avaliação econômica do empreendimento em operação durante 10 anos, com a comercialização dos agregados da construção civil para o município de Juiz de Fora e região (PIGRCC-JF, 2020), conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Investimento na usina de reciclagem de RCC

INVESTIMENTO	DESCRIÇÃO	VALOR (R\$)
Instalação da usina	Projetos, construção (escritório, almoxarifado, oficina), equipamentos (pá carregadeira e usina).	985.998,90
Escritório	Construção, móveis e equipamentos (computadores e ar-condicionado)	130.742,21
Marketing	Consultoria, lançamento, treinamento, material gráfico, divulgação	27.400,00
Capital de giro inicial (6 meses de custos e despesas fixas, exceto depreciação).		169.760,24
Total		1.313.901,35

Fonte: Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil de Juiz de Fora (2010).
Disponível em: <https://www.pjf.mg.gov.br>.

4.6.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA USINA DE RECICLAGEM

a) BRITADORES

O britador é o equipamento central no processo de transformação dos resíduos da construção civil em agregados reciclados. Um exemplo de britador, tipo mandíbula, pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 - Britador



Fonte: <https://www.solabcientifica.com.br/equipamentos/britadores-mandibulas-laboratorios/britador-de-mandibulas-sl-800>

Na usina estudada, identificam-se dois tipos principais:

- Britador de Mandíbula, cuja função é esmagar os resíduos maiores por compressão entre duas superfícies metálicas. É indicado para o primeiro estágio da britagem, sendo eficiente na fragmentação de concretos, blocos cerâmicos e restos de alvenaria. Ele apresenta baixa taxa de desgaste e alta robustez estrutural, mas tende a produzir materiais com granulometria mais irregular.
- Britador de Impacto, utilizado em estágios posteriores ou como britador único em instalações menores. Atua por meio de rotores que arremessam o material contra placas metálicas fixas, promovendo uma quebra por impacto. Gera agregados com formas mais regulares e melhor distribuição granulométrica, favorecendo o uso posterior como base ou sub-base em pavimentações urbanas.

A escolha entre os tipos de britador depende da composição predominante dos RCC, da finalidade do agregado reciclado e da capacidade de processamento desejada. De acordo com a Abrecon (2022), a combinação de ambos os tipos, em série, pode elevar a eficiência de produção e ampliar o leque de aplicações dos produtos.

De acordo com a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da

Construção Civil (Abrecon, 2022), a combinação de ambos os tipos, em série, pode elevar a eficiência de produção e ampliar o leque de aplicações dos produtos.

b) PENEIRAS VIBRATÓRIAS E SEPARADORES

Após a britagem, os materiais seguem para as peneiras vibratórias, responsáveis pela classificação granulométrica dos agregados reciclados. O modelo adotado na usina de Juiz de Fora é composto por uma peneira vibratória com telas metálicas de diferentes malhas, distribuídas em decks sobrepostos, que realizam a separação mecânica por gravidade e vibração. Um exemplo do equipamento é exibido na Figura 6.

Figura 6 - Peneiras vibratórias e separadores



Fonte: <https://www.mftecno.com/br/peneira-vibratoria/>

As peneiras permitem a obtenção de subprodutos como:

- brita reciclada (0, 1 ou 2);
- areia reciclada;
- pedrisco;
- resíduos finos para cobertura de aterros ou enchimento de valas.

Além disso, há o uso de separadores magnéticos, empregados para a remoção de componentes metálicos eventualmente presentes nos resíduos, como vergalhões, grampos, arames e peças de ferro fundido.

Essa separação é fundamental para garantir a qualidade dos agregados reciclados e prevenir danos aos equipamentos.

Esse conjunto de separação contribui para a redução de contaminantes, melhora a uniformidade do material final e aumenta a eficiência de reaproveitamento.

Contudo, seu desempenho depende da qualidade do resíduo recebido e da manutenção das malhas das peneiras, que podem sofrer obstruções frequentes por resíduos úmidos ou finos.

c) EQUIPAMENTOS AUXILIARES

Além dos britadores e peneiras, a usina conta com uma série de equipamentos auxiliares, que desempenham funções operacionais estratégicas:

- Esteiras transportadoras: conduzem os resíduos entre as diferentes etapas do processo, reduzindo o manuseio manual e aumentando a fluidez da produção.
- Caixas de armazenamento (áreas de pulmão): permitem o acúmulo temporário dos resíduos triados ou processados, funcionando como reguladores de fluxo entre as etapas.
- Empilhadeiras e retroescavadeiras: utilizadas para carga, descarga e movimentação dos resíduos e agregados reciclados, tanto no pátio de recepção quanto na área de estocagem.
- Caçambas e baias de separação: permitem o armazenamento organizado dos diferentes tipos de agregados, facilitando sua posterior destinação.

Esses equipamentos, embora secundários em relação ao processo de transformação dos materiais, são fundamentais para garantir a logística interna, a segurança operacional e a organização da produção, influenciando diretamente a produtividade da usina.

A eficiência técnica dos equipamentos depende de múltiplos fatores: manutenção periódica, adequação do *layout* da usina, capacitação dos operadores e controle da qualidade dos resíduos recebidos.

Na usina pública de Juiz de Fora, alguns gargalos operacionais foram observados:

- Falta de triagem eficiente na entrada, que sobrecarrega o britador com materiais inadequados;
- Ocorrência de obstruções nas peneiras, principalmente por resíduos úmidos ou finos;
- Desgaste precoce de peças e parada de equipamentos por manutenção corretiva, o que compromete a continuidade da operação;
- Carência de indicadores formais de desempenho (como taxa de reaproveitamento, perda por etapa ou eficiência energética).

A adoção de uma abordagem de manutenção preventiva, reorganização do fluxo de materiais e melhor capacitação dos operadores pode ampliar significativamente a produtividade da planta. Além disso, seria recomendável implantar um sistema básico de monitoramento de perdas e rendimentos, conforme sugerido por estudos recentes sobre usinas municipais de RCC (Silva e Silva R., 2024; Fonseca, 2020).

O ciclo produtivo tem início com a recepção e triagem dos materiais e se estende até o armazenamento e a destinação final dos agregados reciclados, passando por operações intermediárias como britagem, peneiramento e separação magnética.

A compreensão detalhada dessa dinâmica é essencial para identificar os pontos críticos de perda, gargalos operacionais e oportunidades de otimização, especialmente em contextos urbanos de médio porte.

O modelo aqui descrito pode servir como referência metodológica para a estruturação de usinas públicas em outros municípios brasileiros, com base em parâmetros técnicos realistas e em conformidade com a Resolução CONAMA nº 307/2002, que estabelece a classificação dos resíduos sólidos da construção civil em quatro classes (A, B, C e D).

Além disso, destaca-se que, apesar da existência de tecnologias e práticas consolidadas, a ausência de políticas públicas municipais que incentivem ou obriguem o uso de agregados reciclados compromete a efetividade do processo.

Essa limitação não é exclusiva de Juiz de Fora, sendo um desafio recorrente nos sistemas de gestão de RCC no Brasil, conforme alertam estudos do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2012) e da ABRECON (2022).

4.7 CARACTERÍSTICAS E DESAFIOS DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Dentre os RCC encontram-se os metais, argamassa, concreto, tijolo, plástico, madeira, cerâmica e vidro, que podem e devem ser reutilizados, pois eles são inertes no meio ambiente, ou seja, não se decompõem e representam riscos à saúde. Os danos causados ao meio ambiente por conta do descarte de resíduos tem sido uma das preocupações da sociedade mundial, pois a questão da preservação do meio ambiente e da conservação dos recursos naturais é urgente.

E, apesar dos esforços para reduzir o impacto ambiental dos RCC, os canteiros de obras ainda representam uma das principais fontes de poluição que geram impactos negativos ao meio ambiente (Cunha *et al.*, 2023).

Negri e Gemelli (s.d.) ressaltam que os setores econômicos, de uma maneira geral e continuamente, desenvolvem suas atividades através da extração e utilização de materiais naturais não renováveis, sem considerar a possibilidade de sua extinção. Os estudos sobre várias cidades brasileiras demonstraram que os resíduos de construção e demolição de obras é em torno de 60% a 70% do total do volume de todos os resíduos gerados nas cidades, com geração entre 230 à 760 kg/hab/ano de resíduos de construção.

Bohana, Jesus e Marchi (2019) acrescentam que a indústria de materiais da construção civil utiliza cerca de 50% dos recursos naturais extraídos e, no Brasil, a estimativa é de consumo de 210 milhões de toneladas/ano de agregado na produção de argamassas e concretos, sem incluir os agregados usados na pavimentação e as perdas. Segundo os autores, a cadeia produtiva da indústria da construção civil é muito grande e, por conta disso, para se alcançar o desenvolvimento sustentável, faz-se necessário que a essa indústria também seja sustentável. Para isso, ela deve promover ações para tratar os resíduos gerados pelas suas atividades, e o seu manejo abrange um conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de separação e/ou triagem, acondicionamento, coleta, transporte e destinação final.

Negri e Gemelli (s.d.), afirmam que extração de agregados naturais nas áreas situadas próximas dos centros urbanos e o agregado mineral proveniente do resíduo da construção civil causam danos ambientais, mas a utilização dos resíduos não tem sido aproveitada e eles são descartados diretamente nos aterros. Os autores ressaltam que o aproveitamento desses resíduos tem muitos aspectos positivos e, durante o processo, há a possibilidade de reciclá-lo de forma manual ou mecânica na própria obra.

Com a reciclagem, pode-se aplicá-lo em argamassas e concretos sem função estrutural ou adicionados em pequenas frações aos concretos convencionais em estruturas de baixas solicitações; em concretos para contrapisos, calçadas e drenos. Após o beneficiamento do entulho da construção, seus fragmentos podem ser utilizados como agregado, principalmente graúdo, mas não como agregado miúdo, porque eles apresentam grande quantidade de material pulverulento e interferências na trabalhabilidade (Negri e Gemelli, s.d.).

Para Negri e Gemelli (s.d.), o agregado é de extrema importância na confecção de compósitos sobre as propriedades finais do material e, também, no aspecto econômico. Mas percebe-se que há dificuldades na utilização do agregado de RCC no processo de britagem, graduação, controle de pós e separação de partículas indesejadas. Os autores comentam que os agregados reciclados de subprodutos originários de concretos e argamassas, tem grande porosidade e aspereza superficial, e absorvem mais água, já os agregados mais leves têm propriedades mecânicas inferiores às atuais. A análise das características físicas, geométricas e ambientais dos agregados de RCC auxilia na minimização de sua produção e na viabilização de seu reuso.

De acordo com Negri e Gemelli (s.d.), os agregados reciclados diferem dos convencionais por apresentarem maior heterogeneidade, menor resistência da matriz e maior porosidade, características que influenciam propriedades como resistência mecânica, absorção de água e massa específica. Os autores destacam que o material reciclado possui propriedades físicas semelhantes às do concreto, podendo ser utilizado como agregado reciclado em sua própria composição. O agregado graúdo de RCC apresenta densidade inferior, maior porosidade e granulometria distinta em relação aos agregados naturais, o que aumenta sua capacidade de absorção de água. Ainda assim, esses materiais atendem às exigências das normas da ABNT. Ressalta-se que a incorporação de agregados reciclados no concreto reduz sua trabalhabilidade, em função das características de absorção, peso unitário e textura do material.

Bassi e Lopes (2017), Paulino *et al.* (2023) e demais autores estudados são unânimes e afirmar que o mundo passa por grandes mudanças climáticas e o descarte inadequado de materiais de construção civil contribui para aumentá-las, pois aumenta a poluição da natureza, pode provocar enchentes, e a proliferação de doenças. Além disso, a produção de cimento afeta o efeito estufa, pois em sua produção há liberação de grandes quantidades de gás carbônico. Para reduzir o impacto ambiental da construção civil, torna-se necessário adotar práticas sustentáveis, e as usinas de reciclagem podem ser a solução para esse problema.

Segundo Beraldo (2022), o Brasil tem grande potencial para aumentar a reciclagem, mas tem alguns desafios a serem enfrentados para o seu crescimento, dentre eles: a falta de conscientização e de estímulo para que haja engajamento do consumidor na separação e descarte seletivo de resíduos; falta de infraestrutura das

prefeituras para criar condições e estratégias para o incentivo à reciclagem; falta de uma estrutura fiscal tributária, que incentive a indústria a investir nela; acesso à matéria-prima, informalidade excessiva e empresas pouco organizadas ou carentes de profissionalismo, o que compromete esse mercado.

Os RCC, segundo Paschoalin-Filho *et al.* (2018) e Cunha *et al.* (2023), têm um percentual muito baixo de reciclagem no Brasil, que em 2021, produziu cerca de 48 milhões de toneladas. Em média, os RCC são compostos por: 29,2% de argamassa; 15,7% de rocha/solo/areia; 12,7% de materiais cerâmicos; 8,1% de gesso; 34,1% de outros materiais, incluindo concreto.

Em 2022, o Brasil reciclou apenas 4% dos quase 82 milhões de toneladas de resíduos gerados, e o restante do material foi para aterros controlados, lixões a céu aberto ou nas ruas e praças do país. A ANFACER estima que o Brasil pode reciclar 98% dos resíduos da construção civil, mas só consegue dar conta de 21%.

Portanto, a implantação e o fortalecimento de usinas de reciclagem de RCC, associadas a políticas públicas e conscientização, são estratégias viáveis e necessárias. Conclui-se que investir na reciclagem desses resíduos não só é tecnicamente possível, como também altamente vantajoso para o meio ambiente e para o desenvolvimento sustentável das cidades.

4.8 INDICADORES DE VIABILIDADE

De acordo Beraldo (2022) e Paulino *et al.* (2023), dentre as vantagens, as usinas fixas têm maior capacidade de receber os resíduos de grandes obras, e sua estrutura tem maior capacidade de processamento e pode receber grandes volumes de resíduos como há em Juiz de Fora. Na usina, pode-se ter uma infraestrutura completa para todas as etapas da reciclagem, desde a separação até o processamento final. As desvantagens, referem-se ao custo elevado para sua instalação e manutenção, mas a estrutura torna-se permanente e os gastos serão para aprimorá-la e mantê-la posteriormente. Apesar de dificultar o atendimento em diferentes locais de geração de resíduos, ela torna-se um local fixo, onde as construtoras poderão descartar seus resíduos.

Mas é preciso salientar que a reciclagem de RCC ajuda a diminuir a quantidade de entulho descartada em aterros sanitários e em locais públicos, reduz a poluição do solo e da água, e evita a emissão de gases de efeito estufa provenientes da decomposição do lixo. Com a reciclagem de materiais como concreto, tijolos e metais,

reduz-se a necessidade de extração de novas matérias-primas, como areia, brita e minérios, e isso contribui para a preservação dos recursos naturais. Além disso, a reciclagem pode gerar economia para as empresas da construção civil, ao reduzir os custos de transporte e descarte de resíduos quanto na possibilidade de reutilização dos materiais reciclados em novas obras. Com isso, diminui-se a necessidade da compra de materiais novos Bassi e Lopes (2017), Beraldo (2022), Paulino *et al.* (2023).

É importante salientar, segundo Bassi e Lopes (2017), John (2020), Beraldo (2022) e Paulino *et al.* (2023), que a reciclagem de RCC estimula o desenvolvimento de novas tecnologias e processos para o tratamento e reaproveitamento dos materiais, e isso promove a inovação no setor. Com a redução da quantidade de resíduos em aterros sanitários e a diminuição de descartes clandestinos há melhoria da qualidade de vida da população, com cidades mais limpas e menos focos de proliferação de vetores de doenças. Dessa forma, a existência de uma usina de reciclagem e a divulgação dos seus benefícios podem despertar a conscientização da população sobre a importância da reciclagem e da gestão adequada dos resíduos

Para que as construtoras analisarem a viabilidade econômica de uma usina de reciclagem de RCC devem considerar vários fatores, segundo Sobral (2012) e Gulart (2017), dentre eles:

- O custo de construção e operação, que deve incluir os custos de equipamentos (britadores, peneiras, correias transportadoras etc.), infraestrutura, mão de obra, energia, e logística de transporte de resíduos e produtos finais.
- A quantidade e qualidade dos resíduos – para verificar a quantidade de resíduos disponíveis, sua qualidade e os custos de tratamento.
- A demanda por produtos recicláveis - avaliar a demanda local por blocos de concreto, agregados reciclados, e outros materiais reciclados, bem como os seus preços.
- A legislação ambiental – para seguir as normas regulamentadoras, que podem afetar os custos de operação e o tipo de materiais que podem ser reciclados.
- A sustentabilidade e benefícios sociais – o empreendimento pode trazer benefícios econômicos, mas ele se torna fundamental para contribuir para a sustentabilidade, reduzir a necessidade de aterros e o consumo de matérias-primas virgens.

Para a análise da viabilidade económica, segundo Sobral (2012) e Gulart (2017), é recomendável realizar um estudo de mercado, para identificar a demanda por produtos recicláveis e os seus preços; o estudo de custos, para estimar todos os custos envolvidos na construção e operação da usina; a análise de fluxos de caixa, para projetar as receitas e despesas futuras e calcular indicadores como Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR); a análise de sensibilidade, para avaliar o impacto de diferentes cenários de preço, custos e volume de resíduos; a análise de risco, para avaliar os riscos envolvidos no projeto e tomar decisões informadas.

Os autores estudados, dentre eles, Sobral (2012) e Gulart (2017), apontam para a formação de parcerias entre as empresas de construção, para garantir um fornecimento de resíduos estável e reduzir os custos de transporte; o investimento em tecnologia com maquinários de última geração, para aumentar a eficiência e reduzir os custos; e a capacitação da força de trabalho em busca de formar colaboradores eficientes para trabalhar com equipamentos e processos de reciclagem para garantir a qualidade do produto final.

Há diversos métodos para analisar a viabilidade econômica de projetos e Sobral (2012) aponta alguns deles, que são embasados na determinação dos principais custos e benefícios que os envolvem; nos fluxos de caixa e nas estimativas de indicadores econômicos como: taxa efetiva de juros, taxas de aumento de custos e receitas e duração da análise do projeto.

Para Sobral (2012), os métodos ou indicadores mais utilizados para essa análise são:

Valor Presente Líquido – VPL, utilizado para calcular a diferença entre o valor presente dos fluxos de caixa futuros de um projeto e o investimento inicial. Um VPL positivo indica que o projeto é viável, pois espera-se que gere mais valor do que o custo inicial.

Valor Uniforme Líquido – VUL, que é uma técnica de análise financeira que transforma todos os fluxos de caixa de um projeto em uma série de pagamentos anuais uniformes e equivalentes. Com essa técnica pode-se comparar o projeto com diferentes durações e, assim, avaliar a viabilidade econômica de cada um como se fossem séries uniformes e comparáveis. O VUL permite converter o fluxo de caixa de um projeto em um valor anual constante que representa o retorno esperado do investimento.

Relação Benefício/custo – B/C, que é uma métrica usada na análise de custo-benefício para avaliar a viabilidade econômica de um projeto ou proposta. Através dela, compara-se o valor presente dos benefícios de um projeto com o valor presente de seus custos, o que permite determinar se os benefícios superam os custos e em que medida isso ocorre.

Taxa interna de Retorno – TIR, que é uma taxa de desconto, obtida a partir de uma estimativa de fluxo de caixa futuro (projeção gerada por um investimento ao longo de um período específico) na qual o Valor Presente Líquido (VPL) é igual a zero. Ela é utilizada para avaliar a rentabilidade de um investimento.

Tempo de Retorno do Capital (TRC) ou *Payback*, que considera o período necessário para que um investimento gere receitas suficientes para cobrir o valor inicial investido, ou seja, o tempo que leva para recuperar o dinheiro investido. Seu cálculo pode variar de acordo com o tipo de investimento e da complexidade do projeto, mas, geralmente, envolve a divisão do valor do investimento inicial pelo fluxo de caixa médio gerado por esse investimento.

De acordo com Sobral (2012), o Tempo de Retorno do Capital (TRC) pode ser exemplificado da seguinte forma: se um investimento inicial de R\$ 10.000 gera um fluxo de caixa anual de R\$ 2.000, o TRC será de 5 anos ($10.000 \div 2.000 = 5$). Esse indicador permite avaliar a viabilidade financeira de um investimento, estimando quanto tempo será necessário para recuperar o capital aplicado, além de possibilitar a comparação entre diferentes alternativas, escolhendo aquela que oferece retorno mais rápido.

No entanto, é fundamental que a estimativa do fluxo de caixa seja realista, considerando receitas e despesas futuras. O TRC tradicional não leva em conta o valor do dinheiro no tempo, por isso é importante considerar o custo de oportunidade, ou seja, o retorno que poderia ser obtido em investimentos alternativos. Para contornar essa limitação, utiliza-se o *Payback* descontado, que incorpora o custo do capital e fornece uma visão mais precisa do retorno ajustado ao valor do dinheiro ao longo do tempo.

Com a aplicação desses métodos, de acordo com Sobral (2012), torna-se possível determinar se um projeto é financeiramente viável e se irá gerar valor para a empresa. Com relação às boas práticas da engenharia econômica, o autor aponta a necessidade de se realizar um estudo de viabilidade de um projeto com o objetivo de demonstrar ao empreendedor/investidor a importância de analisar alguns fatores

antes da abertura do negócio, como os riscos e pontos de sustentabilidade para o respectivo investimento.

Nesse sentido, para Sobral (2012), a análise da viabilidade econômico-financeira dos investimentos torna-se fator primordial para os gestores, para alocar os recursos financeiros e, também, na relação da empresa com a sociedade e os respectivos agentes econômicos como fornecedores, clientes e concorrentes, sobre o ambiente do negócio, em que se pretende investir.

Sobral (2012) ressalta que é importante ter uma concepção de valor econômico sobre o investimento, do que ele pode render e os benefícios que gerará. O projeto de viabilidade deve considerar uma estimativa detalhada dos indicadores que o compõem, que incluem a pesquisa de mercado até as métricas de avaliação econômica e financeira, para prever danos, quantificar risco e retorno, despesas e custos relacionados ao investimento e, para isso a análise da viabilidade deve envolver métodos, cálculos e interpretações de resultados financeiros.

Sobral (2012) comenta que há diversas técnicas de análise de viabilidade econômica de investimentos, mas todas envolvem critérios econômicos, como a rentabilidade do investimento; financeiros, que são a disponibilidade de recursos, e os técnicos locacionais, produtivos e tecnológicos, e a falta de planejamento pessoal e planejamento econômico-financeiro pode ter como consequência a falência da empresa em poucos anos. Por isso, na realização do projeto de investimento deve-se buscar informações quantitativas e qualitativas relevantes internas e/ou externas à empresa, coletadas para serem analisadas.

Os aspectos técnicos de projetos de investimentos, segundo Sobral (2012), devem compreender estudos de mercado, engenharia, tamanho e localização, com a coleta de dados sobre o mercado-alvo, os produtos a serem ofertados, o melhor processo produtivo e os equipamentos, a escala de produção adequada e o local para a instalação do empreendimento.

Com relação ao estudo do mercado, Sobral (2012) salienta a necessidade de responder algumas questões, quais sejam: o que produzir; quanto produzir; para quem produzir; a que preços; quais os problemas de comercialização; que segmento atingir; quem já se encontra no mercado; como o governo interfere; como ver o mercado hoje e como ver o mercado futuro. O estudo do mercado deve envolver o levantamento da oferta e da demanda globais, as projeções da demanda e da oferta globais, o programa de produção do projeto, a análise do regime de mercado para o

projeto, a estrutura de concorrência e rentabilidade do negócio e as barreiras de entrada.

Sobral (2012) ressalta que a viabilidade financeira analisa verticalmente o investimento e a potencial lucratividade do projeto e quando os custos são menores que as potenciais receitas em um período de tempo, o projeto é viável financeiramente. Com relação à viabilidade econômica, deve-se analisar as vantagens e benefícios do projeto de forma mais horizontal e comparativo e avalia a situação do projeto em relação às outras oportunidades com risco igual ou menor, em busca de saber se a sua rentabilidade é atrativa ou não.

4.8.1 COMPARATIVO DE CUSTO-BENEFÍCIO

Um dos fatores centrais da viabilidade econômica da usina é o custo relativo à destinação tradicional dos resíduos, que inclui transporte até o aterro, taxas ambientais e desgaste veicular.

Estudos demonstram que o custo de descarte em aterros controlados gira em torno de R\$ 120,00 a R\$ 160,00 por tonelada, enquanto o custo médio de processamento em usinas públicas de reciclagem é significativamente menor, oscilando entre R\$ 60,00 e R\$ 90,00/t, conforme dados da ABRECON (2022) e análises de Vianna et al. (2019).

Segundo a ABRECON (2022), outro aspecto relevante refere-se ao valor de mercado dos agregados reciclados, que desempenha papel importante na viabilidade econômica das usinas de reciclagem. Em geral, esses materiais apresentam preço de venda inferior ao dos agregados naturais, o que funciona como uma estratégia de competitividade para ampliar sua aceitação no mercado da construção civil. Apesar desse valor reduzido, a comercialização dos agregados reciclados pode representar uma fonte de receita significativa, contribuindo para compensar parte dos custos operacionais do empreendimento — como transporte, manutenção de equipamentos, consumo de energia e mão de obra. Dessa forma, o retorno financeiro, ainda que parcial, auxilia na sustentabilidade econômica da usina e incentiva a continuidade das atividades de reciclagem, alinhando aspectos ambientais e financeiros

A Tabela 5 apresenta-se uma comparação simplificada entre os valores dos materiais naturais e reciclados:

Tabela 5 - Comparação dos valores de Agregado Reciclado e Natural

Tipo de Agregado	Preço Médio Natural (R\$/m ³)	Preço Médio Reciclado (R\$/m ³)
Areia	R\$ 70,00	R\$ 40,00
Brita	R\$ 100,00	R\$ 60,00
Pedrisco	R\$ 90,00	R\$ 55,00

ABRECON (2022).

De acordo com a ABRECON (2022), observa-se que, apesar desse valor reduzido, a comercialização dos agregados reciclados pode representar uma fonte de receita significativa, contribuindo para compensar parte dos custos operacionais do empreendimento — como transporte, manutenção de equipamentos, consumo de energia e mão de obra. Dessa forma, o retorno financeiro, ainda que parcial, auxilia na sustentabilidade econômica da usina e incentiva a continuidade das atividades de reciclagem, alinhando aspectos ambientais e financeiros.

4.8.2 INDICADORES AMBIENTAIS E URBANOS

A reciclagem de RCC contribui diretamente para a redução de impactos ambientais negativos associados à disposição inadequada de resíduos e à extração de recursos naturais. No caso da implantação de uma usina de reciclagem, a adoção plena da economia circular pode gerar os seguintes benefícios:

- Redução de emissões de CO₂: ao evitar o transporte até aterros e a substituição de materiais virgens por reciclados. Estimativas apontam que cada tonelada de agregado reciclado produzida evita, em média, a emissão de 18 a 22 kg de CO₂, conforme estudo de Paschoalin-Filho e Ortega (2022);
- Preservação de jazidas naturais: reduzindo a extração de brita, areia e pedrisco de áreas ambientalmente sensíveis;
- Melhoria urbana e inclusão socioeconômica: ao integrar cooperativas ou trabalhadores da triagem ao processo produtivo;
- Contribuição direta aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – em especial os ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e 12 (Consumo e Produção Responsáveis), reforçando compromissos de sustentabilidade urbana.

Indicadores de sustentabilidade urbana e circularidade são métricas, que avaliam o desempenho de uma cidade em termos de desenvolvimento sustentável e economia circular. Eles abrangem áreas como ambiente, economia, sociedade, governo e infraestrutura e assim, permite a avaliação do progresso em direção a cidades mais sustentáveis e resilientes.

Ressalta-se que a sustentabilidade urbana e a economia circular são conceitos interligados. A sustentabilidade busca criar cidades que atendam às necessidades do presente sem comprometer as gerações futuras; e a economia circular visa reduzir o desperdício e maximizar o valor dos recursos. A implementação de políticas e práticas de economia circular contribui para o aumento da sustentabilidade urbana, pois reduz o impacto ambiental e promove a resiliência das cidades.

Esses indicadores, com relação ao ambiente, consideram as emissões de gases de efeito estufa, consumo de água, geração e gestão de resíduos, qualidade do ar e do solo, preservação de áreas verdes, biodiversidade.

Com relação à economia, atenta para o crescimento econômico local, geração de empregos, nível de renda, investimento em tecnologias verdes e para a 83 sociedade, espera a melhora na qualidade de vida, acesso a serviços públicos, educação, saúde, moradia, segurança, e conta com a transparência, participação social, governança local, políticas públicas de sustentabilidade.

Outro indicador importante é sobre a infraestrutura, com vistas à mobilidade urbana, eficiência energética, construção sustentável, gestão da água e resíduos. Os indicadores da economia circular consideram a taxa de reutilização e reciclagem de resíduos, redução do consumo de recursos, extensão da vida útil dos produtos e utilização de materiais renováveis.

A utilização destes indicadores permite às cidades e organizações monitorarem o progresso, avaliar o impacto das ações de sustentabilidade e circularidade, tomar decisões como a implementação de políticas públicas e práticas que promovam a sustentabilidade e a economia circular; compartilhar os resultados com a população e outras partes interessadas; e identificar áreas de melhoria e implementar ações para otimizar o desempenho.

4.9 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E IMPACTOS AMBIENTAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

De acordo com Cunha *et al.* (2023), a construção civil é um setor fundamental para a economia brasileira, com a geração de empregos diretos e indiretos, qualificados e não qualificados; que fortalece a economia ao impulsionar investimentos e o desenvolvimento socioeconômico; gera renda e riquezas e, ainda contribui para o desenvolvimento social e urbano. Os impactos desse setor podem ser observados no crescimento econômico, no aumento da produtividade e da oferta de infraestrutura e, ainda na redução do déficit habitacional ao proporcionar moradia digna para milhões de pessoas.

Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021a) demonstraram que o setor da construção civil empregou 10% dos trabalhadores brasileiros e, em 2022, teve aumento de 21,6% de empregos, com 2,3 milhões de trabalhadores, e o valor das incorporações, e serviços chegam a R\$ 439,0 bilhões.

Mas, segundo Paschoalin-Filho *et al.* (2018) e Cunha *et al.* (2023), ao mesmo tempo que este setor é tão importante para a economia brasileira, é, também, altamente nocivo ao meio ambiente e à sociedade. Na visão de Bohana *et al.* (2019), os RCC impactam negativamente o meio físico e biótico devido ao volume gerado aliado ao descarte inadequado o que compromete a qualidade ambiental nos locais, onde é descartado. Observa-se os impactos nas margens dos rios, em terrenos baldios e calçadas, e, também na drenagem urbana, que comprometem a drenagem superficial e provoca a obstrução dos córregos.

Além desses problemas relacionados ao meio ambiente, Bohana *et al.* (2019), ressaltam que os resíduos afetam a saúde pública, devido ao acúmulo de água, que contribui para a proliferação de vetores. Para os municípios, remover os RCC, exige custos elevados, mas os impactos podem ser minimizados através de técnicas como reciclagem e reuso. No caso específico dos RCC, 64% deles são compostos por argamassa, e materiais, cujas misturas contêm cimento, areia e cal hidratada, que têm grande potencial de reciclagem para ser utilizado como agregado.

De acordo com Ledo (2015), o resíduo se tornou grandes problemas para os centros urbanos, motivo de preocupação e grande desafio a ser enfrentado pelas administrações públicas, Nesse sentido, a reciclagem como uma prática socialmente importante, que traz uma possível solução para diminuir a quantidade de lixo nos aterros sanitários e lixões; para prolongar a vida útil dos aterros sanitários; gerar

receita com a comercialização dos recicláveis; economizar energia e de recursos naturais; gerar empregos formais e rendas informais para os catadores; reduzir a extração de matérias-primas necessárias à produção de novos bens de consumo; promover qualidade de vida para a população e para o meio ambiente; e preservar os recursos naturais.

A preocupação com o meio ambiente envolve todos os países, porque todos são afetados pelas mudanças climáticas. Por conta disso, Santana (2016) mostra que governos, empresas e pesquisadores estão empenhados na busca por alternativas para minimizar os efeitos negativos resultantes das atividades econômica. E isso requer uma mudança dos padrões de consumo da população e o controle dos processos produtivos, para reduzir o uso de matéria-prima e geração de resíduos. O gerenciamento de resíduos é fundamental para diminuir os impactos ambientais causados pelo RCC, mas de acordo com Vertown (2024):

A maioria dos mais de 5.500 municípios do Brasil ainda não dispõe de recursos técnicos e financeiros para solucionar as questões relativas ao mau gerenciamento de resíduos sólidos. Com isso, a sociedade e a economia sofrem e os impactos ambientais são um efeito colateral preocupante dessa negligência.

Dos orgânicos aos inorgânicos, dos entulhos ao lixo domiciliar, todo resíduo sólido tem seu valor. Administrá-los da melhor forma possível é responsabilidade de todos, desde empresas dos mais variados setores até os cidadãos comuns, passando pelas autoridades e instituições competentes do poder público.

[...] o gerenciamento de resíduos, é constituído por um conjunto de ações que buscam minimizar os impactos ambientais da geração de resíduos e garantir coleta, armazenamento, tratamento, transporte e descarte adequado a todos eles (Vertown, 2024, n.p.).

Dentre os resíduos que impactam negativamente o meio ambiente, os da indústria da construção civil têm grande parcela de contribuição, e Santana (2016) comenta que a Resolução nº 001 do CONAMA, de 1986 (Brasil, 1986):

Art. 1º Para efeito desta Resolução, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do

meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais (Brasil, 1986).

De acordo com Santana (2016), as ações humanas causam impacto ambiental de alguma forma, porque geram resíduos sólidos, e isso faz parte dos processos produtivos e a má gestão desses resíduos alteram a qualidade ambiental. Os impactos podem ser percebidos nas condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e ocorrem devidos à disposição irregular dos resíduos nos espaços urbanos. O autor ressalta que esse descarte irregular, além de comprometer a qualidade do ambiente e da paisagem local, traz diversos problemas sociais, como obstrução no sistema de drenagem superficial e a obstrução de córregos, que é um dos componentes mais importantes do sistema de drenagem. Como consequência, o local torna-se propício a enchentes, e requer dos órgãos públicos a desobstrução contínua do sistema de drenagem, com mais gastos que poderiam ser destinados à melhoria dos municípios.

De acordo com Santana (2016), muitos RCC contém substâncias perigosas, como adesivos, tintas, óleo, baterias, biocidas incorporados a madeiras tratadas, sulfatos provenientes da dissolução de gesso, e outros, que contaminam o solo, as águas e o ar. Tais resíduos podem impactar o meio ambiente pela contaminação química do solo, pois há penetração de substâncias tóxicas, oriundas de tintas e solventes; a qualidade do ar fica comprometida devido ao desprendimento de gases tóxicos, como compostos orgânicos voláteis; e águas subterrâneas ficam poluídas, pois os resíduos penetram o pelo solo e atingem o lençol freático. E os trabalhadores também são afetados quando inalação ou manejam inadequadamente essas substâncias nocivas. Além disso, a indústria da construção civil afeta o meio ambiente com a retirada de matéria-prima não retornável, como: areia, cal, ferro, alumínio, madeira, água potável e a geração de entulho.

A resolução CONAMA nº 307 (BRASIL, 2002), segundo Santana (2016), não trata do impacto negativo gerado pela queima de resíduos nos canteiros de obra, mas ela provoca impacto decorrente da liberação de gases tóxicos, que prejudicam a qualidade do ar, como acontece com a queima da madeira pintada, que tem chumbo

em sua composição. A autora ressalta que a Lei nº 12.305/10, que institui a PNRS (BRASIL, 2010), proíbe a queima a céu aberto ou em recipientes, instalações e equipamentos não licenciados como forma de destinação final.

É importante salientar que os impactos provocados pela disposição irregular dos RCC causam impactos, também, nas vias de trânsito, na proliferação de vetores patogênicos, como ratos, baratas, moscas, vermes, bactérias, fungos e vírus, que afetam a saúde pública, com a transmissão de doenças respiratórias, epidérmicas, viroses, entre outras e, também na economia. Esse impacto social é grave, pois afeta o bem-estar da população, envolve a economia, pois aumenta a demanda nos hospitais e aumento nos custos das secretarias de saúde. Os RCC geram custos sociais interligados, pessoais ou públicos até com reformas, ampliação e demolição, que geram pequenos volumes de resíduos, cujos geradores os descartam em áreas livres nas imediações, que se tornam sorvedouro de entulho (Santana, 2016).

De acordo com John (2000) e Santana (2016), a reciclagem dos RCC traz benefícios e, atualmente, há novas tecnologias da construção para realizá-la e diminuir os impactos ambientais negativos causados por esses resíduos. A RCC pode gerar impactos sociais, econômicos e ambientais positivos, mas deve-se ressaltar que a reciclagem sem critérios pode gerar riscos técnicos, ambientais e para a saúde, por isso é necessário garantir a qualidade dos materiais reciclados.

A reciclagem de RCC é importante instrumento para o desenvolvimento sustentável pois, segundo John (2000) e Santana (2016), Castro e Sartori (2021) contribui para a redução do impacto ambiental. Socialmente, ela pode gerar empregos em áreas como coleta, triagem, reciclagem e produção de novos materiais e aumentar a consciência ambiental. Economicamente, reduz custos de matéria-prima e descarte de resíduos, estimula a economia circular e contribui para a economia circular, ao reduzir o desperdício e aumentar a eficiência na utilização de recursos; reduzir os custos de matéria-prima, descarte de resíduos e transporte, e gerar economia para as empresas e para a sociedade. E, ainda, ambientalmente, promove a conscientização sobre a importância de reduzir, reutilizar e reciclar materiais, contribui para um futuro mais sustentável, diminui o impacto da construção civil, diminui a extração de recursos naturais e reduz a poluição ao reduzir a emissão de poluentes e a quantidade de resíduos em aterros sanitários causada pela construção civil e contribui para a preservação do meio ambiente. Além disso, a produção com materiais reciclados tende a consumir menos energia.

Entre as principais vantagens da reciclagem de resíduos da construção civil, destacam-se a redução da deposição inadequada desses materiais em áreas irregulares e em aterros de inertes, bem como a diminuição dos custos de destinação final. Além disso, o emprego de agregados reciclados em substituição às matérias-primas naturais contribui para preservar os recursos ambientais. Conforme observa John (2000) e Castro e Sartori (2021), o maior benefício ambiental da reciclagem de RCC consiste justamente na substituição de materiais naturais por resíduos reutilizáveis, o que prolonga a vida útil das jazidas, minimiza a extração de recursos e reduz os impactos sobre a paisagem, a fauna e a flora.

Paulino e Lazari (2023) e Nóbrega (2025) destacam que a chamada “reciclagem inteligente” envolve tecnologias avançadas que combinam sensores, robótica e algoritmos de inteligência artificial para identificar e separar materiais com alta precisão, realizar triagem robótica eficiente e de qualidade superior, aplicar processos de reciclagem química para transformar resíduos em novos recursos e até utilizar impressão 3D a partir de materiais recicláveis.

Estudos recentes indicam que plataformas equipadas com câmeras, sensores (como infravermelho ou espectroscopia), braços robóticos e IA conseguem classificar automaticamente os materiais com grande exatidão, aumentando significativamente a produtividade do processo. Essas inovações tecnológicas permitem intensificar a automatização da triagem, elevar a pureza dos materiais recuperados e criar novas formas de reutilização, como impressão 3D ou reciclagem química. Consequentemente, ampliam o potencial de reaproveitamento dos resíduos, melhoram a qualidade dos agregados reciclados e reduzem os custos operacionais, fortalecendo a viabilidade econômica e ambiental da reciclagem de resíduos da construção civil.

De acordo com John (2000) e Castro e Sartori (2021), a integração com políticas públicas e governança local é fundamental para a criação de unidades de reciclagem de resíduos da construção civil, pois garante a sustentabilidade, a conformidade legal e a eficiência do processo. As políticas públicas, como a Lei nº 12.305/10 (Política Nacional de Resíduos Sólidos), estabelecem o marco regulatório, estabelece diretrizes para o gerenciamento de resíduos, incluindo a reciclagem, e garante que as atividades realizadas de forma legal e ambientalmente responsável.

A governança local, envolvendo tanto órgãos públicos quanto a sociedade civil, conforme destacam John (2000) e Castro e Sartori (2021), é essencial para facilitar a

implementação e o acompanhamento das políticas de reciclagem. Ela promove transparência e responsabilidade compartilhada entre os setores público e privado, permitindo monitorar as atividades de reciclagem, garantir eficiência operacional e assegurar resultados positivos do ponto de vista da sustentabilidade.

Além disso, John (2000) e Castro e Sartori (2021) ressaltam que a integração entre políticas públicas e a governança local favorece a criação de parcerias público-privadas, fundamentais para investimentos em infraestrutura e tecnologias de reciclagem. Ao incentivar a colaboração entre diferentes atores, essa integração estimula a inovação e a eficiência nas práticas de gestão de resíduos. É fundamental que, no âmbito do planejamento urbano, deve-se considerar a sustentabilidade ambiental, promovendo a redução do consumo de recursos naturais, a geração de energia limpa, a diminuição das emissões de gases de efeito estufa e a preservação de espaços verdes, contribuindo assim para cidades mais resilientes e ambientalmente equilibradas.

5. RESULTADOS

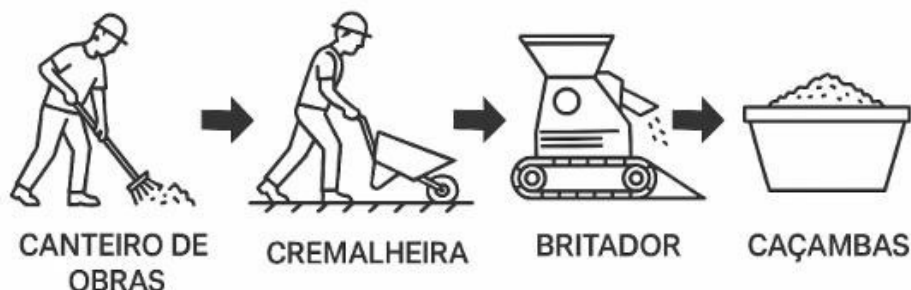
O escopo da proposta é avaliar a viabilidade da implantação de uma usina de reciclagem de pequeno porte no canteiro de obras da Construtora A, foi definido uma nomenclatura a fim de não identificar o nome empresarial da construtora estudada.

A escolha desse tema decorreu da análise de suas vantagens e desvantagens e ausência de políticas públicas e aplicáveis para as construtoras privadas na cidade de Juiz de Fora- MG com embasamento na Usina de Reciclagem implantada pela DEMLURB.

Atualmente, os resíduos de construção civil gerados pelo processo construtivo da Construtora A, como sobras de concreto, argamassa, madeira, aço, gesso e outros materiais são descartados em caçambas estacionárias e encaminhados diretamente para áreas de botafora como no bairro de Linhares, sem qualquer processo de triagem, reaproveitamento ou reciclagem.

No presente estudo, não foram contemplados custos relacionados ao local para a instalação da usina, mão de obra, escritório, vestiário e refeitório, pois a Construtora A possui o terreno, mão de obra e escritório instalados dentro do seu canteiro de obras, eliminando assim qualquer gasto adicional com aquisição ou locação.

O processo operacional de reciclagem dos resíduos segue o fluxo apresentado na Figura 7.

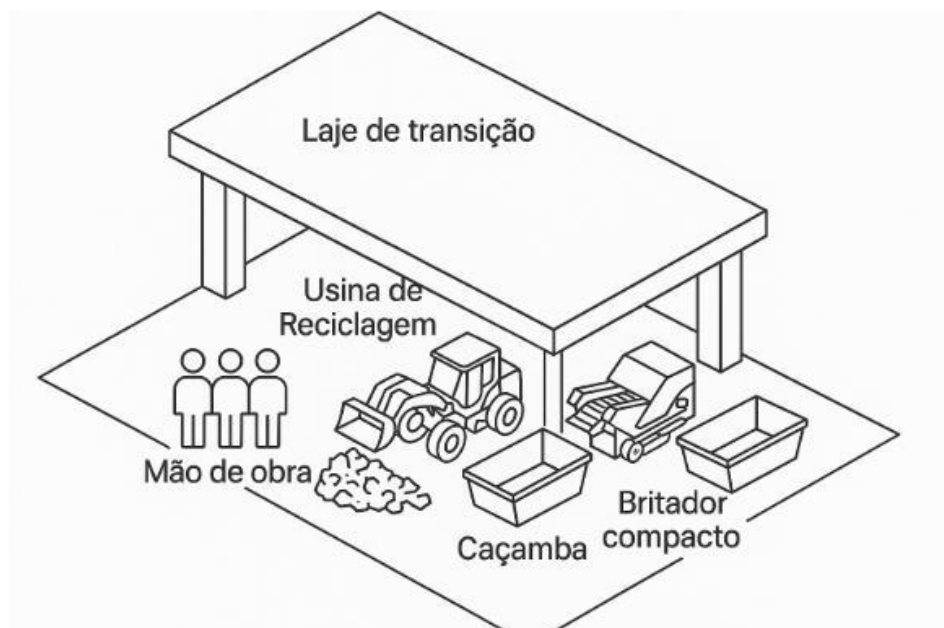
Figura 7 - Fluxo de produção

Fonte Autor, 2025.

Os serventes realizam a limpeza e coleta dos entulhos nas frentes de serviço, os quais são transportados por carrinhos de mão até a cremalheira. Em seguida, os resíduos descem até a área inferior, onde são descarregados no britador compacto. Após a britagem, o material é direcionado às caçambas para armazenamento dos agregados reciclados, que poderão ser reaproveitados em novas etapas construtivas, promovendo a eficiência operacional e a sustentabilidade do empreendimento.

Quanto à mão de obra, considerou-se que parte do quadro de colaboradores existente seria aproveitado pois os mesmos já fazem o carregamento dos resíduos para as caçambas e realizam a limpeza do local embaixo da laje de transição onde fica as garagens. Dessa forma esses fatores não foram contemplados no modelo financeiro do projeto, conforme a Figura 8.

Figura 8 - Croqui da instalação.



Fonte: Autor, 2025.

A construtora gera, em média, 15 caçambas/mês de 4 m³ cada, equivalentes a 60 m³/mês de resíduos em um único canteiro. Além disso, possui outros três empreendimentos na mesma fase de obra (alvenaria). Mantido o mesmo nível de geração nas quatro frentes, obtém-se aproximadamente 240 m³/mês para a construtora.

A análise contempla aspectos financeiros, legais e ambientais, incluindo um plano operacional que prevê o uso de energia elétrica trifásica, com potência instalada total de 20 kW, operando 6 horas diárias, durante 22 dias por mês. Esse consumo resulta em um total mensal de 2.640 kWh, com custo estimado de R\$ 2.508,00, considerando tarifa média de R\$ 0,95/kWh.

O custo atual por caçamba é de R\$ 270,00 (caçamba de 4 m³), o que corresponde a R\$ 67,50/m³. Para um canteiro, a despesa mensal estimada é de R\$ 4.050,00 (15 × R\$ 270,00), totalizando R\$ 48.600,00/ano.

Para atender à própria demanda interna e eliminar o custo com descarte, foi proposta a implantação de uma usina de pequeno porte, com equipamentos compactos, voltados para o processamento de até 90 toneladas/mês. A densidade média dos resíduos classe A foi considerada como 1,5 t/m³.

O custo operacional mensal da usina inclui:

- Energia elétrica: R\$ 2.508,00;

- Manutenção e EPIs: R\$ 1.000,00;
- Mão de obra interna (já contratada): R\$ 0,00;
- Custo operacional mensal total estimado: R\$ 3.508,00.

O investimento inicial estimado foi de R\$ 200.000,00, está contemplado na Tabela 6.

Os valores apresentados na Tabela 6 foram estimados com base em orçamentos obtidos diretamente em fornecedores do setor, incluindo o catálogo técnico e comercial da empresa Lippel, especializada em soluções para reciclagem e processamento de resíduos (LIPPEL, 2024).

Tabela 6 - Custo com a implantação

INVESTIMENTO	DESCRIÇÃO	VALOR (R\$)
Britador de mandíbula compacto (até 5 t/h)	Maquinário para operação	R\$ 100.000,00
Peneira vibratória simples	Maquinário para operação	R\$ 40.000,00
Equipamentos complementares e base de apoio	Pá, enxada, carrinho de mão, caçambas e construção de baias.	R\$ 60.000,00
Instalação da usina	Projetos, construção (escritório, almoxarifado, oficina), equipamentos (pá carregadeira e usina).	R\$ 0
Escritório/ Vestiário e Refeitório	Construção, móveis e equipamentos (computadores e ar-condicionado)	R\$ 0
Energia elétrica	Para a produção	R\$ 2.508,00
Manutenção e EPIs	Para a produção	R\$ 1.000,00
Mão de obra	Para a produção	R\$ 0
Investimento inicial		R\$ 200.000,00
Custos operacionais mensais		R\$ 3.508,00
Custos operacionais anual		R\$ 42.096,00

Fonte: Autor, 2025.

5.1 CÁLCULO DOS INDICADORES DE ANÁLISE DE VIABILIDADE

Para analisar o cenário da Construtora A com a receita adicional, foram aplicados indicadores de análise de viabilidade, com o intuito de validar o potencial de retorno, o risco e a atratividade do projeto investido, com base em dados e critérios quantitativos a fim de avaliar a viabilidade da implantação.

a) VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

A partir do fluxo de caixa projetado o investimento inicial é de R\$ 200.000,00, e as receitas crescentes iniciou em de R\$ 194.400,00 em 2025 até R\$ 301.578,21 em 2035 o que foi considerado um crescimento anual de 5%, os custos operacionais fixos de R\$ 42.096,00 e taxa mínima de atratividade (TMA) de 30% ao ano, foi estruturada a projeção do fluxo de caixa da atividade. Ressalta-se que, enquanto a taxa SELIC funciona como referência macroeconômica, a TMA de um projeto é definida pela empresa segundo seu custo de capital e a percepção de risco do investimento, não havendo, portanto, correlação direta entre ambas.

A Tabela 6 foi baseada no enquadramento de “Receita”, estas podem advir da economia com a redução do envio de resíduos a aterros, da comercialização de agregados reciclados ou de seu aproveitamento interno em obras. Já os “Custos operacionais” compreendem gastos com mão de obra, combustíveis, energia elétrica, transporte, manutenção de equipamentos e demais insumos necessários à operação da usina.

Para o cálculo da receita/benefício econômico (tratado como custo evitado de destinação), considerou-se o volume agregado de 240 m³/mês dos quatro canteiros. Em base anual, isso corresponde a 2.880 m³/ano (240 × 12). Aplicando-se o valor unitário de R\$ 67,50/m³ (derivado do custo da caçamba), obtém-se R\$ 194.400,00/ano.

No primeiro ano, o fluxo de caixa bruto apresentou valor negativo de R\$ 200.000,00 em razão do aporte inicial, enquanto nos anos seguintes manteve crescimento consistente, atingindo R\$ 236.273,50 em 2035. Após a aplicação do fator de desconto, os fluxos de caixa descontados revelaram a atratividade do empreendimento, considerando a soma dos fluxos descontados obtém-se o Valor

Presente Líquido (VPL) de aproximadamente R\$ 337.232,87 ao final do horizonte de análise de dez anos, evidenciando que o projeto gera retorno expressivo acima do custo de capital adotado, conforme apresenta-se na Tabela 7.

Tabela 7 - Fluxo de caixa projetado

ANO	Receita (R\$)	Custos Operacionais (R\$)	Fluxo de Caixa Bruto (R\$)	Fator Desconto 30%	Fluxo Descontado (R\$)
2025	0	200.000,00	- 200.000,00	1	-200.000,00
2026	194.400,00	42.096,00	152.304,00	0,77	117.156,92
2027	204.120,00	44.200,80	159.919,20	0,59	94.626,75
2028	214.326,00	46.410,84	167.915,16	0,46	76.429,29
2029	225.042,30	48.731,38	176.310,92	0,35	61.731,35
2030	236.294,42	51.167,95	185.126,47	0,27	49.859,94
2031	248.109,14	53.726,35	194.382,79	0,21	40.271,49
2032	260.514,60	56.412,67	204.101,93	0,16	32.526,97
2033	273.540,33	59.233,30	214.307,03	0,12	26.271,79
2034	287.217,35	62.194,96	225.022,39	0,09	21.219,52
2035	301.578,21	65.304,71	236.273,50	0,07	17.138,84

Fonte: Autor, 2025.

Em contraste, o estudo da Construtora A, com uma usina de pequeno porte voltada para o processamento de até 90 toneladas/mês, apresentou um VPL de aproximadamente R\$ 337.232,87 ao final de 10 anos. Esse resultado reflete um modelo privado, focado na economia com o descarte de resíduos e na comercialização de agregados reciclados. O investimento inicial foi de R\$ 200.000,00, com custos operacionais mensais de R\$ 3.508,00. A receita anual projetada cresceu de R\$ 194.400,00 em 2025 para R\$ 301.578,21 em 2035, considerando um crescimento anual de 5%.

Destarte, ambos os estudos evidenciam a viabilidade econômica da implantação de usinas de reciclagem de resíduos da construção civil, embora com escalas e contextos diferentes. O estudo de Sobral (2012) destaca a viabilidade de

uma usina pública de grande porte, enquanto o estudo da Construtora A demonstra a viabilidade de uma usina privada de pequeno porte, adaptada às necessidades específicas de um canteiro de obras. Os resultados reforçam a importância da análise de viabilidade econômica adaptada às características e demandas locais, seja em contextos públicos ou privados.

b) TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

No caso da usina de reciclagem da Construtora A, o cálculo da TIR foi realizado assumindo que o investimento inicial de R\$ 200.000,00 ocorreu no ano 0 (2025), enquanto os fluxos de caixa líquidos se tornam positivos a partir de 2026, quando a operação da usina já gera economia com o descarte de resíduos e potencial receita com a venda de agregados reciclados, conforme apresenta-se na Tabela 8.

Tabela 8 - Fluxos de Caixa Anuais

Ano	FCB (R\$)
2025	-R\$ 200.000,00
2026	152.304,00
2027	159.919,20
2028	167.915,16
2029	176.310,92
2030	185.126,47
2031	194.382,79
2032	204.101,93
2033	214.307,03
2034	225.022,39
2035	236.273,50

Fonte: Autor, 2025.

O resultado do cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR) para a implantação da usina de reciclagem no canteiro de obras da Construtora A revelou uma rentabilidade anual de aproximadamente 80,8%, valor significativamente superior à Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 30% utilizada na análise de viabilidade.

Esse índice demonstra a elevada atratividade econômica do projeto, reforçada pelo baixo investimento inicial de R\$ 200.000,00 e pelos fluxos de caixa positivos e crescentes ao longo dos anos.

O estudo aponta para um retorno real expressivo, confirmando que a implantação da usina representa uma alternativa vantajosa para a gestão de resíduos da construção civil, com potencial de gerar economia e receita para a empresa.

Ao comparar a Taxa Interna de Retorno (TIR) obtida no projeto da Construtora A com os resultados apresentados por Sobral (2012), observa-se que, embora ambos os estudos indiquem a viabilidade econômica da implantação de usinas de reciclagem de resíduos da construção civil, os contextos e os retornos projetados são distintos.

No caso da Construtora A, a TIR calculada foi de aproximadamente 80,8% ao ano, refletindo a elevada rentabilidade proporcionada por um investimento inicial relativamente baixo (R\$ 200.000,00) e fluxos de caixa positivos já no segundo ano de operação. Por outro lado, no estudo de Sobral (2012), que analisou a implantação de uma usina pública de grande porte na cidade de João Pessoa/PB, mantida pela prefeitura e com capacidade de processamento significativamente maior (20 t/h), a TIR foi menor, situando-se em valores mais conservadores, condizentes com a escala e a natureza pública do investimento. Isso se deve, principalmente, ao fato de que projetos públicos visam retorno social e ambiental, mais do que financeiro, e costumam ter prazos de retorno mais longos.

Portanto, embora os dois estudos confirmem a viabilidade das usinas, o projeto da Construtora A se destaca por apresentar uma rentabilidade financeira mais acelerada, típica de empreendimentos privados bem direcionados e com estrutura de custos otimizada.

c) ÍNDICE DE BENEFÍCIO-CUSTO (IBC)

O valor dos benefícios foi calculado a partir da receita gerada pelo aproveitamento dos resíduos, que representa a economia com a redução do envio a aterros e a comercialização ou reutilização de agregados reciclados no próprio canteiro de obras e com a taxa de TMA de 30% (o dobro da SELIC de 2025, por questões de segurança de investimento) o que resultou no valor de R\$ 685.721,12 para o valor presente dos benefícios posteriormente foi calculado o valor presente dos custos obtendo o valor de R\$348.488,25. Conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 9 - Cálculo de IBC

ANO	Receita (R\$)	Custos Operacionais (R\$)
2025	0	200.000,00
2026	194.400,00	42.096,00
2027	204.120,00	44.200,80
2028	214.326,00	46.410,84
2029	225.042,30	48.731,38
2030	236.294,42	51.167,95
2031	248.109,14	53.726,35
2032	260.514,60	56.412,67
2033	273.540,33	59.233,30
2034	287.217,35	62.194,96
2035	301.578,21	65.304,71
Valor Presente dos Benefícios	685.721,12	
Valor Presente dos Custos		348.488,25
IBC	1,97	

Fonte: Autor, 2025.

Ou seja, um IBC de 1,97 significa que para cada R\$ 1,00 investido, o projeto gera R\$ 1,97 de retorno presente, o que representa uma atratividade econômica.

Com base no cálculo do Índice de Benefício-Custo (IBC), o projeto apresenta um resultado de 1,97, indicando que para cada real investido, são gerados R\$ 1,97 em benefícios atualizados.

Esse valor demonstra uma viabilidade econômica, uma vez que o IBC é significativamente superior a 1, o que sinaliza que os retornos do projeto superam com folga os custos envolvidos.

Aliado ao Valor Presente Líquido (VPL) positivo de aproximadamente R\$ 337.232,87 o IBC reforça que o projeto é financeiramente atrativo e tem grande potencial de retorno sobre o capital investido, justificando sua implementação sob os parâmetros utilizados.

O Índice de Benefício-Custo (IBC) obtido para a Construtora A foi de 1,97, valor que, embora indique a viabilidade econômica do empreendimento, é inferior ao estimado para o projeto de Sobral (2012), cujo IBC atingiu 2,61.

Esse resultado reflete que, mesmo com investimentos públicos mais elevados e retornos financeiros mais modestos em termos absolutos, o projeto de Sobral apresentou uma relação benefício-custo mais vantajosa, em razão de seus objetivos sociais, ambientais e coletivos, característicos de políticas públicas.

Por outro lado, o empreendimento privado da Construtora A evidência maior atratividade quando analisado em termos de retorno direto e simplicidade operacional, demonstrando que ambos os projetos são viáveis, ainda que sob perspectivas distintas: o público, com maior impacto social e ambiental; e o privado, com maior eficiência na aplicação do capital.

d) PAYBACK

O valor do *Payback* simples e descontado foi calculado com desconto dos fluxos de caixa futuros à taxa mínima de atratividade de 30%, trazendo-os ao valor presente. Esse cálculo permite comparar os benefícios econômicos do projeto ao longo dos anos e avaliar sua viabilidade financeira.

Foi calculado em uma análise dupla para passar mais segurança à decisão do investimento, tal qual indicado nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 10 - Payback Simples (sem desconto)

Ano	FCB	FCB Acumulado
2025	-R\$ 200.000,00	-R\$ 200.000,00
2026	152.304,00	-R\$ 47.696,00
2027	159.919,20	112.223,20
2028	167.915,16	280.138,36

Fonte: Autor, 2025.

Tabela 11 - Payback Descontado

Ano	FCD	FCD Acumulado
2025	-R\$ 200.000,00	-R\$ 200.000,00
2026	117.156,92	-R\$ 82.843,08
2027	94.626,75	R\$ 11.783,67
2028	76.429,29	R\$ 88.212,96
2029	61.731,35	R\$ 149.944,32

Fonte: Autor, 2025.

O investimento inicial é recuperado entre 2027 e 2028. Por meio de interpolação, estima-se que o *Payback* Simples seja de aproximadamente 1,30 um ano e 3 meses, indicando um retorno rápido do capital investido.

Neste caso, o valor investido também é recuperado entre 2027 e 2028, porém considerando o valor do dinheiro no tempo. O *Payback* Descontado é estimado em aproximadamente 1,87 um ano e dez meses, sendo uma abordagem mais conservadora e realista.

Ambos os indicadores apontam que o projeto apresenta recuperação rápida do capital investido, o que reforça sua viabilidade econômica.

Apesar da atratividade financeira evidenciada pelos indicadores de VPL e IBC, a análise do *Payback* indica que o projeto não recupera o investimento inicial de R\$ 200.000,00 no seu primeiro ano de operação. Em 2025, o fluxo de caixa líquido é negativo em R\$ 200.000,00 devido ao aporte inicial.

A partir de 2027, os fluxos passam a ser positivos, e o investimento começa a ser recuperado. A soma dos fluxos de caixa líquidos descontados se torna positiva entre os anos de 2027 e 2028, o que permite estimar um *Payback* descontado em aproximadamente 1 ano e 10 meses.

Isso significa que o capital investido será totalmente recuperado por meio dos retornos do projeto de menos de dois anos, o que é um prazo curto e aceitável, especialmente considerando o horizonte de análise de 10 anos, reforçando a segurança e liquidez do investimento.

Ao comparar os resultados de *Payback* do projeto da Construtora A com os apresentados por Sobral (2012), observa-se uma clara diferença quanto à velocidade de retorno do investimento entre os modelos de usina privada e pública.

O projeto da Construtora A apresenta um *Payback* Simples de

aproximadamente 1,3 anos e um *Payback* Descontado de cerca de 1,87 anos, o que indica uma recuperação rápida do investimento inicial de R\$ 200.000,00.

Já no estudo de Sobral, que analisou uma usina pública de grande porte mantida pela Prefeitura de João Pessoa/PB, embora o projeto tenha apresentado viabilidade econômica com VPL positivo, o retorno do investimento se deu de forma mais lenta, com *Payback* estimado entre 5 e 7 anos, devido ao alto investimento inicial e ao foco em benefícios sociais e ambientais, mais do que em lucratividade direta.

Essa comparação destaca que, enquanto o modelo público busca gerar benefícios coletivos a longo prazo, o modelo privado como o da Construtora A é projetado para oferecer retornos financeiros rápidos e alta eficiência operacional, tornando-se mais atraente sob a perspectiva econômica estrita.

5.2 ANÁLISE DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

A análise econômica do projeto de implantação da usina de reciclagem da Construtora A foi conduzida por meio da avaliação dos principais indicadores de viabilidade, incluindo Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Índice Benefício-Custo (IBC) e *Payback*.

Estes parâmetros possibilitam mensurar a atratividade financeira e a sustentabilidade do investimento, considerando as projeções de receita, custos operacionais e o horizonte de análise definido. Os resultados obtidos fornecem uma visão abrangente do desempenho econômico do empreendimento, fundamentando a tomada de decisão quanto à sua implementação. A Tabela 12 demonstra os valores:

Tabela 12 - Análise dos métodos de avaliação

MÉTODO UTILIZADO	UNIDADE	VALOR ENCONTRADO
Valor Presente Líquido - VPL	R\$	337.232,87
Tempo de Retorno do Capital (VPL) – TRC	Anos	1,30 (<i>Payback</i> descontado)
Tempo de Retorno do Capital (<i>Payback</i>) – TRC	Anos	1,87 (<i>Payback</i> simples)
Índice Benefício/Custo - IBC	Valor	1,97
Taxa Interna de Retorno - TIR	% a.a	80,8

Fonte: Autor, 2025.

Diante dos indicadores analisados, observa-se que o projeto da usina de reciclagem apresenta sólida viabilidade econômica, evidenciada pelo elevado VPL positivo, alta TIR e um índice benefício-custo superior a 1, além de um retorno do investimento relativamente rápido menor que dois anos.

. Esses resultados destacam a eficiência financeira da iniciativa e seu potencial contribuição para a gestão sustentável dos resíduos da construção civil, ao mesmo tempo em que reforçam a atratividade do investimento para a Construtora A. Assim, a implantação da usina se configura como uma alternativa estratégica capaz de aliar ganhos econômicos expressivos à responsabilidade ambiental.

5.3 PRODUÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS

Com a reciclagem dos 60 m³ mensais de RCC, obtém-se cerca de 90 toneladas de agregados reciclados. A produção prevista, após britagem e peneiramento, pode ser dividida nas frações indicadas na Tabela 13:

Tabela 13 - Produção de Agregados Reciclados.

Tipo de agregado	Proporção estimada (%)	Quantidade mensal (t)	Aplicações
Brita corrida	40%	36 t	Sub-base de pavimento, lastro para fundação
Brita fina (0 a 19 mm)	30%	27 t	Contrapiso, calçadas, elementos de vedação
Pó de pedra	20%	18 t	Estabilização de solos, base para assentamento de blocos
Rejeito leve (solo, gesso, madeira)	10%	9 t (destinação externa ou aterro)	Não recicláveis

Fonte: Autor, 2025.

Essa produção é capaz de suprir parte significativa da demanda da própria obra, reduzindo ou eliminando a necessidade de aquisição de agregados naturais.

Considerando o custo médio de R\$ 70,00 por tonelada de brita adquirida no mercado, a substituição gera uma economia de R\$ 6.300,00/mês.

Dentre as vantagens, as usinas fixas têm maior capacidade de receber os resíduos de grandes obras, e sua estrutura tem maior capacidade de processamento e pode receber grandes volumes de resíduos como há em Juiz de Fora.

Na usina, pode-se ter uma infraestrutura completa para todas as etapas da reciclagem, desde a separação até o processamento final. As desvantagens, referem-se ao custo elevado para sua instalação e manutenção, mas a estrutura torna-se permanente e os gastos serão para aprimorá-la e mantê-la posteriormente.

Apesar de dificultar o atendimento em diferentes locais de geração de resíduos, ela torna-se um local fixo, onde as construtoras poderão descartar seus resíduos.

O objetivo da análise é que, com a criação da usina, pode-se reduzir, na cidade de Juiz de Fora, o envio de materiais dos RCC ao aterro e, assim, contribuir para a redução do impacto ambiental, da economia de recursos naturais e gerar novos empregos diretos e indiretos na região, pois a construção e operação de uma usina de reciclagem demandam mão de obra qualificada e impulsionam a economia local.

Ressalta-se, contudo, que, em um cenário de ampliação da capacidade produtiva com a instalação de uma usina de maior porte, haveria a necessidade de contratação de profissionais especializados e o consequente aumento dos custos operacionais. Nesse caso, tais despesas deveriam ser devidamente consideradas nas análises financeiras, a fim de refletir de forma mais precisa a realidade econômica do empreendimento.

Além disso, com sua instalação, haverá a diminuição da necessidade de aterros sanitários e promoverá práticas mais sustentáveis na construção civil.

Dentre essas vantagens, é preciso atentar-se que a reciclagem de RCC ajuda a diminuir a quantidade de entulho descartada em aterros sanitários e em locais públicos, reduz a poluição do solo e da água, e evita a emissão de gases de efeito estufa provenientes da decomposição do lixo.

Com a reciclagem de materiais como concreto, tijolos e metais, reduz-se a necessidade de extração de novas matérias-primas, como areia, brita e minérios, e isso contribui para a preservação dos recursos naturais. Além disso, a reciclagem pode gerar economia para as empresas da construção civil, ao reduzir os custos de transporte e descarte de resíduos quanto na possibilidade de reutilização dos materiais reciclados em novas obras. Com isso, diminui-se a necessidade da compra de novos materiais.

É importante salientar que a reciclagem de RCC estimula o desenvolvimento de novas tecnologias e processos para o tratamento e reaproveitamento dos materiais, e isso promove a inovação no setor.

Com a redução da quantidade de resíduos em aterros sanitários e a diminuição de descartes clandestinos há melhoria da qualidade de vida da população, com cidades mais limpas e menos focos de proliferação de vetores de doenças.

Dessa forma, a existência de uma usina de reciclagem e a divulgação dos seus benefícios podem despertar a conscientização da população sobre a importância da reciclagem e da gestão adequada dos resíduos.

De acordo com o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil de Juiz de Fora (2010), as empresas privadas podem participar do projeto como parceiras do município e podem obter ganhos em benefícios da caixa econômica como a certificação PBPQH.

Entre as vantagens, destaca- a redução de custos com aquisição de agregados para construção civil, que ficam mais barato que o preço do mercado, aumento na arrecadação tributária para a cidade e geração de novos empregos diretos e indiretos são impactos imediatos à implantação da usina.

A avaliação da viabilidade financeira da implantação de uma Usina de Reciclagem de RCC no Município de Juiz de Fora considera as obrigações legais e tributárias de uma instituição privada comum, e os benefícios obtidos pelas instituições públicas podem ser adicionados ao resultado do negócio.

5.4 INDICADORES-CHAVE DE DESEMPENHO (KPIS)

No presente estudo, a Tabela 12 apresenta os principais KPIs projetados para a usina de Juiz de Fora, destacando, por exemplo, um custo estimado de R\$ 38,98 por tonelada reciclada, uma taxa de reaproveitamento de 90% e uma economia mensal de R\$ 6.300,00 com substituição de agregados naturais. Os dados demonstram que, além de ser financeiramente viável, a operação da usina possui elevado potencial de eficiência técnica, sendo compatível com práticas recomendadas de gestão de resíduos sólidos urbanos (ABRECON, 2022; Ghisellini *et al.*, 2016). A Tabela 14 abrange os resultados de forma simplificada.

Tabela 14 - Indicadores-Chave de Desempenho (KPIs) da Usina de Reciclagem de RCC – Juiz de Fora

Indicador	Unidade	Valor Estimado	Observações
Custo por tonelada reciclada	R\$/tonelada	R\$ 38,98	Considerando custos operacionais fixos mensais (R\$ 3.508,00) / 90 t
Taxa de reaproveitamento	%	90%	Reaproveitamento de 81 t/mês (excluindo 9 t de rejeito leve)
Receita por m ³ de agregado reciclado	R\$/m ³	R\$ 105,00 (estimativa)	Baseada em substituição da brita comercial (R\$ 70,00/t) e densidade média
Eficiência dos equipamentos	Toneladas/hora	2,5 t/h (estimada)	Capacidade teórica de britagem e peneiramento em operação contínua
Economia mensal gerada	R\$/mês	R\$ 6.300,00	Com base na substituição de agregados naturais na própria obra

Fonte: Autor, 2025

5.5 INDICADORES DE CUSTO-BENEFÍCIO

A produção estimada de 90 toneladas mensais de agregados reciclados a partir do processamento de 60 m³ de RCC evidencia a capacidade da usina de Juiz de Fora em suprir parte significativa das necessidades da própria construção civil local, sobretudo em obras públicas ou de médio porte.

A Tabela 14 evidência como a distribuição dos materiais reciclados em brita corrida (36 t), brita fina (27 t) e pó de pedra (18 t), permite sua aplicação em diversas fases da obra, desde sub-bases de pavimentos até elementos de vedação e estabilização de solos, reduzindo substancialmente a demanda por agregados naturais.

Ao considerar o valor médio de R\$ 70,00 por tonelada de brita adquirida no mercado convencional, a substituição total dos 90 t mensais representaria uma economia direta de R\$ 6.300,00, valor que impacta positivamente a estrutura de custos operacionais da construtora e torna o projeto financeiramente atraente (Juiz de Fora, 2010).

Além do ganho econômico, a implantação da usina fixa em Juiz de Fora pode promover benefícios ambientais diretos, como a redução do volume de resíduos encaminhados ao aterro, minimização da poluição do solo e da água, e a diminuição da emissão de gases de efeito estufa.

A estabilidade operacional da usina, associada à economia circular gerada com o reaproveitamento dos materiais, consolida o empreendimento como uma solução eficiente e sustentável, com capacidade de gerar empregos, fomentar a economia local e atender diretrizes do Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil (Juiz de Fora, 2010). Nesse contexto, a viabilidade da usina não se limita à sua rentabilidade, mas à capacidade de alinhar empresas da construção civil aos princípios da sustentabilidade.

Diante da análise dos indicadores de custo-benefício, observa-se que a implantação de uma usina de reciclagem de RCC em Juiz de Fora representa não apenas uma solução ambiental, mas também uma oportunidade econômica relevante.

A capacidade de produção de 90 toneladas mensais de agregados reciclados demonstra um aproveitamento técnico eficiente dos resíduos da construção civil, com potencial para suprir parte da demanda do setor local, especialmente em obras públicas com restrições orçamentárias. A economia direta de R\$ 6.300,00 por mês, decorrente da substituição de brita convencional por reciclada, reforça a atratividade do projeto, principalmente quando se considera a tendência crescente de valorização de práticas sustentáveis. Além disso, o impacto ambiental positivo — como a redução da disposição de resíduos em aterros e a mitigação da degradação de áreas urbanas — confere à usina um papel estratégico na gestão integrada de resíduos e na promoção da economia circular.

A estabilidade operacional e a utilização de tecnologias apropriadas asseguram a viabilidade do empreendimento mesmo em municípios de porte médio, conforme demonstrado em estudos de caso e artigos técnicos analisados. Portanto, o investimento em uma usina de reciclagem de RCC ultrapassa a lógica da rentabilidade imediata e consolida-se como um modelo replicável de desenvolvimento urbano

sustentável, onde os resíduos deixam de ser um problema e passam a ser uma solução estratégica. A Tabela 15 exibe o comparativo de Custo-Benefício:

Tabela 15 - Comparativo de Custo-Benefício: Aterro vs. Usina de Reciclagem de RCC

Critério	Destinação em Aterro	Usina de Reciclagem de RCC	Observações
Custo de destinação (R\$/t)	R\$ 120,00 a R\$ 160,00	R\$ 60,00 a R\$ 90,00	ABRECON (2022); Vianna et al. (2019)
Volume processado mensal	90 t (descartadas)	90 t (recicladas)	Equivalente ao total gerado a partir de 60 m³ de RCC
Custo total mensal estimado	R\$ 10.800,00 a R\$ 14.400,00	R\$ 5.400,00 a R\$ 8.100,00	Diferença representa economia direta
Receita com venda de agregados	R\$ 0,00	Até R\$ 5.580,00/mês*	Com base em brita, areia e pedrisco reciclados (Tabela 9)
Economia com compra de agregados	Não aplicável	R\$ 6.300,00/mês	Redução de custos com insumos para obra própria
Investimento inicial	Não há	Elevado (estrutura fixa e equipamentos)	Amortização ao longo dos anos
Impacto ambiental	Alto	Baixo	Emissão de CO ₂ , uso de aterros, extração de recursos naturais
Geração de empregos e inclusão	Limitada	Alta	Demanda mão de obra qualificada e pode integrar cooperativas
Sustentabilidade	Não sustentável	Alinhada aos ODS (11 e 12)	Prática de economia circular

Fonte: Autor, 2025.

5.6 INDICADORES AMBIENTAIS E URBANOS

Os estudos de Paschoalin-Filho e Ortega (2022) estimam uma economia de 18 a 22 kg de CO₂ por tonelada de agregado reciclado produzido e ao considerar a operação da usina, seria possível evitar mensalmente, a emissão de aproximadamente 1.620 kg a 1.980 kg de CO₂, valor expressivo no combate às mudanças climáticas e à poluição atmosférica urbana.

Ao substituir o uso de brita e areia naturais, contribui-se diretamente para a preservação de jazidas minerais e a mitigação da degradação de áreas ambientalmente sensíveis.

Além disso, ao integrar trabalhadores da triagem e potencialmente cooperativas locais ao ciclo produtivo, a usina promove inclusão socioeconômica, fortalecendo vínculos com o território e impulsionando a economia circular.

Dessa forma, os impactos positivos extrapolam o aspecto econômico, posicionando a usina como um agente transformador da paisagem urbana e ambiental, ao mesmo tempo em que contribui com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente os ODS 11 e 12, ao promover cidades mais sustentáveis e padrões de produção e consumo mais responsáveis. A Tabela 16 apresenta as estimativas de redução de impactos ambientais com a construção da usina de RCC da Construtora A.

Tabela 16 - Redução de Impactos Ambientais da Usina da Construtora A

Indicador Ambiental	Valor Estimado	Fonte/Observação
Produção mensal de agregados reciclados	90 toneladas	Com base na reciclagem de 60 m ³ de RCC
Redução de emissões de CO ₂	1.620 a 1.980 kg de CO ₂ /mês	Paschoalin-Filho e Ortega (2022): 18 a 22 kg CO ₂ evitados por tonelada reciclada
Economia de recursos naturais	Redução de extração de brita, areia e pedrisco	Substituição parcial de agregados naturais por reciclados
Redução de envio a	90 toneladas/mês de	RCC reaproveitado na

aterros	resíduos desviados	própria obra ou comercializado
Geração de emprego e inclusão	Potencial para inclusão de cooperativas e mão de obra local	Impacto socioeconômico positivo
Contribuição aos ODS	ODS 11 e ODS 12	Cidades Sustentáveis e Consumo Responsável

Fonte: Autor, 2025.

A Tabela 16 pode-se observar que com o valor estimado de 90 toneladas pode-se reduzir 1.620 e 1.980 kg de CO₂/mês essa redução evidencia o importante papel que a reciclagem de resíduos da construção civil pode desempenhar na mitigação das emissões de gases de efeito estufa, contribuindo diretamente para o combate às mudanças climáticas.

Além dos benefícios ambientais imediatos, esse indicador está alinhado com diversos Objetivos da ODS propostos pela ONU. Especificamente, a ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) é atendida ao promover soluções urbanas que reduzem impactos ambientais. A ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) também se destaca, pois, a atividade fomenta o reaproveitamento de materiais e a economia circular. Por fim, a ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima) é diretamente impactada, à medida que a reciclagem de RCC contribui para a redução das emissões de CO₂ e outros poluentes atmosféricos.

Dessa forma, a implantação e operação de usinas de reciclagem de RCC não apenas representam uma solução técnica para a gestão de resíduos urbanos, como também reforçam o compromisso dos municípios com o desenvolvimento sustentável, colocando em prática ações concretas que respondem às urgências ambientais.

6. CONCLUSÃO

O estudo alcançou seu objetivo ao mostrar que o setor da construção civil traz muitos benefícios para o crescimento do país por gerar empregos e contribuir para o Produto Interno Bruto (PIB), mas que sua produção de resíduos descartada ilegalmente traz prejuízos para o meio ambiente. Para evitar tal problema, torna-se importante a criação de políticas sólidas e reciclagem dos RCC.

Sobral (2012) em seu estudo sobre a viabilidade econômica de uma usina de beneficiamento de RCC, afirma que, independentemente dos resultados obtidos, sua implantação justifica-se pelo retorno que traz à preservação do meio ambiente.

O Valor Presente Líquido – VPL encontrado, considerando um horizonte de planejamento de 10 anos, foi R\$ 337.232,87 (trezentos e trinta e sete mil, duzentos e trinta e dois reais e oitenta e sete centavos), o que comprova a viabilidade econômica da implantação.

Nesta situação o tempo de retorno do capital investido ficou 1 ano e três meses para o (*Payback* descontado) e 1 ano e oito meses para o (*Payback* simples) para o período projetado. O IBC encontrado ficou em 1,97 enquanto o TIR foi calculado em 80,8% comprovando ainda a viabilidade da implantação de uma usina de reciclagem no canteiro de obras da Construtora A.

Com base nos dados apresentados, conclui-se que o estudo atingiu plenamente seus objetivos ao demonstrar que, apesar da significativa contribuição da construção civil para o crescimento econômico do país, por meio da geração de empregos e do fortalecimento do PIB, o descarte inadequado de seus resíduos impõe sérios danos ao meio ambiente.

A implantação de usinas de reciclagem de RCC surge, portanto, como uma medida estratégica que alia desenvolvimento sustentável à responsabilidade ambiental. Corroborando com Sobral (2012), mesmo que os indicadores financeiros não fossem plenamente favoráveis, o retorno ambiental já justificaria a viabilidade do projeto.

Contudo, os resultados obtidos para a Construtora A comprovam uma viabilidade econômica sólida, tempo de retorno do capital investido pequeno, além de um Índice Benefício/Custo (IBC) de 1,97 e uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de 80,8%. Tais indicadores confirmam não apenas a viabilidade técnica e financeira da implantação da usina, mas também reforçam seu alinhamento com os princípios da

economia circular e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, promovendo soluções eficazes para os desafios ambientais urbanos.

7. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DE NOTÍCIAS – IBGE. Em 2022, ocupação na indústria da construção cresce 4,4% e serviços especializados ganham participação no valor de obras do setor. Disponível em <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br>. Acesso em 14 abr. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO – ABRAMAT. Perfil da Indústria de Materiais de Construção. FGV Projetos, 2017. Disponível em: < <http://www.abramat.org.br/datafiles/perfil-da-cadeia-2017-versao-site.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15114: Resíduos sólidos da construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação, Rio de Janeiro, 2004.

BRASIL, 2024a. Ministério do Meio Ambiente. Panorama dos Resíduos Sólidos no

Brasil. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2024/12/panorama-dos-residuos-solidos-no-brasil-2024.pdf>. Acesso em: 2 jul. 2025.

BRASIL, 2024b. Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística. Brasil produz 48 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição. Disponível em: <https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira-ambiental/brasil-produz-48-milhoes-de-toneladas-de-residuos-de-construcao-e-demolicao/>. Acesso em: 2 jul. 2025.

BRASIL. Lei n. 12.305 – 02 ago. 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. Disponível em: Acesso em 27 abr. 2025.

GOMES, A.; SILVA, F. Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2010. Disponível em: <https://es.scribd.com/doc/53647105/Gestao-diferenciada-de-residuos-da-construcao-civil-uma-abordagem-ambiental>. Acesso em: 2 jul. 2025.

SANTOS, D.; LIMA, R. Georreferenciamento de áreas de disposição irregular de RCC no município de Presidente Bernardes-SP. Revista Sustentare, São Paulo, v. 2, n. 1, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sn/a/tP7jDDwpgGvyLyJn6G7csr>. Acesso em: 2 jul. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO – ABRECON. Entulho / Mercado. Disponível em: <https://abrecon.org.br/entulho/mercado/>. Acesso em 15 abr, 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. (2014) Panorama nos resíduos sólidos no Brasil: São Paulo, 2014.

BERALDO, Lílian. Índice de reciclagem no Brasil é de apenas 4%, diz Abrelpe. Disponível em <http://agenciabrasil.ebc.com.br>. Acesso em 23 abr. 2025.

BOHANA, M. C. R.; JESUS, G.; MARCHI, C. M. D. F. Resíduos de construção civil: desafios e soluções propostos pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://ri.ucsal.br>. Acesso em 26 abr. 2025.

BOHNENBERGER, J, C et. al. Identificação de áreas para implantação de usina de reciclagem de resíduos da construção e demolição com uso de análise multicritério. Disponível em <https://www.scielo.br> >..<https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000100222>. Acesso em 15 abr. 2025.

BRASIL. Resolução Conama 307, de 5 de julho de 2002. Dispõe sobre a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 jul. 2002. Seção 1, p. 95-96.

BRASIL, Resolução Conama 348, de 16 de agosto de 2004. Altera a Resolução Conama n. 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. Diário Oficial da União , Poder Executivo, Brasília, DF, 17 ago. 2004. Seção 1, p. 70.

BRASIL, Resolução Conama 431, de 24 de maio de 2011. Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso. Diário Oficial da União , Poder Executivo, Brasília, DF, 25 maio 2011.

BRASIL, Resolução Conama 448, de 18 de janeiro de 2012. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10, 11 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - Conama. Diário Oficial da União. Poder Executivo, Brasília, DF, 18 jan. 2012.

BRASIL, Resolução Conama 469, de 29 de julho de 2015. Altera a Resolução Conama n 307, de 05 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União. Poder Executivo, Brasília, DF, 30 jul. 2015.

BRASIL. Lei 14.026, de 15 de julho de 2020. Marco Legal do Saneamento Básico. Brasília, 2020. Disponível em: Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm# Acesso em: 15 maio 2022

BRASIL. Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993. Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. Brasília, 1993. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8666cons.htm Acesso: 15 maio 2022.

CARVALHO, J. C. Resolução CONAMA nº 307 de 05/07/2002. Disponível em <https://www.legisweb.com.br>. Acesso em 15 abr. 2025.

CUNHA, K. S. et al. Resíduos sólidos na construção civil no Brasil. Disponível em <https://ojs.revistagesec.org.br>. DOI: <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i6.2255>. Acesso em 14 abr. 2025.

GULARTE, L. C. P. et al. Estudo de viabilidade econômica da implantação de uma usina de reciclagem de resíduos da construção civil no município de Pato Branco (PR), utilizando a metodologia multi-índice ampliada. Disponível em <https://www.scielo.br>. Acesso em 14 abr. 2025.

Lei nº 7.216/2021. LegisWeb. Disponível em <https://www.legisweb.com.br/legislacao>. Regulamentação de compras de sucata. Acesso em 24 abr. 2025.

JOHN, Vanderley M. Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 113 f. Dissertação para obtenção do Título de Livre Docência - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

Lazzaretti, K. et al. Cidades inteligentes: insights e contribuições das pesquisas brasileiras. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.001.e20190118>. Disponível em: <https://www.scielo.br>. Acesso em 08 mai. 2025.

LÊDO, Samantha. Quais os principais problemas que impedem a reciclagem? Disponível em <http://revistadasustntabiidade>. Wordpress.com. Acesso em 23 abr. 2025.

LOPES, Diogo Plachi et al. Reciclagem de resíduos da construção civil no Brasil. Disponível em <https://periodicorease.pro.br>. - doi.org/10.51891/rease.v9i1.8320 Acesso em 16 abr. 2025.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E.M. Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto, relatório, publicações e trabalhos científicos. São Paulo: Atlas, 2007.

MORESCO, J. M. Análise de fatores que influenciam aspectos financeiros de implantação e operação de usinas de reciclagem de RCC. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de PósGraduação em Engenharia Civil, 2017. 134p.

MUNARO, M. R.; TAVARES, S. F. A economia circular na construção civil: principais barreiras e oportunidades para a transição do setor. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br>. Acesso em 30 de abr. 2025.

NEGRI, Robson; GEMELLI, Enori. Caracterização de Resíduos de Construção e Demolição. Disponível em: <https://periodicos.unesc.net>. Acesso em 26 abr. 2025.

OLIVEIRA, J. P. L.; VIEIRA, S. A. Cidades inteligentes – práticas e indicadores adotados no âmbito internacional. DOI: <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i11.3028>. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br>. Acesso em 07 mai. 2025.

PAULINO, R.S. Atualização do cenário da reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 2008-2020. Disponível em: <https://www.scielo.br>. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212023000300677>. Acesso em 29 abr. 2025.

PASCHOALIN-FILHO, J. A.; MELO, D.; FRASSON, S. Usinas de reciclagem de entulho: importância na construção civil e dificuldades enfrentadas segundo agentes envolvidos. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br>. Acesso em 15 abr. 2025.

PASCHOALIN-FILHO, J. A.; ORTEGA, E. (2022). Economia Circular e Indicadores Ambientais para Cidades Sustentáveis.

PEREIRA, B. H. . Análise dos resíduos de construção civil destinados a ecopontos no município de Juiz de Fora- MG. Disponível em: <https://www.ufjf.br>. Acesso em 20 abr. 2025.

PETARNELLA, L. Cruz; LUI, M. C. As cidades inteligentes e os desafios para a implantação da garantia da qualidade de serviços. Disponível em <https://periodicos.utfpr.edu.br>. Acesso em 08 mai. 2025.

Portal de Educação Ambiental. Brasil produz 48 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição. Disponível em: <https://semil.sp.gov.br>. Acesso em 29 abr. 2025.

PORTAL DE NOTÍCIAS. PJF - Prefeitura de Juiz de Fora. Juiz de Fora é a cidade mineira com maior oferta de coleta seletiva. Disponível em: <https://www.pjf.mg.gov.br>. Acesso em 08 mai. 2025.

PREFEITURA DE JUIZ DE FORA. Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil de Juiz de Fora. Disponível em <https://www.pjf.mg.gov.br> Acesso em 27 abr. 2025.

PREFEITURA DE JUIZ DE FORA. Atos do Governo. Regulamentação de compras de sucata. Disponível em http://www.pjf.mg.gov.br/e_atos/e_atos_vis.php?id=93772. Publicado em: 13/04/2022. Acesso em 24 abr. 2025.

RIBEIRO, Luiz Carlos de Santana et al. Aspectos econômicos e ambientais da reciclagem: um estudo exploratório nas cooperativas de catadores de material reciclável do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em <http://www.scielo.br/j/neco/a/gkxxQTpNy5Mz68cXYb8Yw9p>. Acesso em 23 abr. 2025.

RICARDO, J. Quanto dinheiro os ferros-velhos ganham. Economia e negócios. Disponível em <https://economiaenegocios.com>. Acesso em 22/06/2023.

SÁ, C. P. et al. Cidades inteligentes e economia circular: perspectivas para o desenvolvimento urbano. Disponível em <https://admpg.com.br>. Acesso em 08 mai. 2025.

SANTANA, I. C. Análise dos impactos ambientais causados pelos resíduos sólidos de construção e demolição em Conceição do Almeida. Disponível em <https://www2.ufrb.edu.br>. Acesso em 30 abr. 2025.

SOUZA, T. R. et al. Proposta para aplicação de estratégias de produção mais limpa na construção civil em uma instituição de ensino. Disponível em <https://revistas2.uepg.br>. Acesso em 29 abr. 2025.

THOMÉ, R.; DINIZ, V.; RAMOS, A. Gestão integrada de resíduos sólidos por meio das parcerias público-privadas: instrumento de garantia do direito fundamental ao meio ambiente equilibrado. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br>. Acesso em 23 jul. 2025.

UNIÃO EUROPEIA. Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa aos resíduos e que revoga certas diretivas, 19 nov. 2008. Disponível em: <https://poseur.portugal2020.pt/Content/docs/Poseur/CELEX-32008L0098-pt-TXT.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2025.

UNIÃO EUROPEIA. Diretiva 2018/851 do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa aos resíduos e que altera a Diretiva 2008/98/CE, 30 mai. 2018. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0851&from=EN>. Acesso em: 18 abr. 2025.

VERTOWN GESTÃO DE RESÍDUOS. Quais são os impactos ambientais de uma má gestão de resíduos? Disponível em <https://www.vertown.com>. Acesso em 30 de abr. 2025.

LIPPEL. Rubble Crusher – Britador de Mandíbula Móvel. Lippel Indústria e Comércio. Disponível em: <https://lippel.com.br/pt-BR/produtos/britadores-de-mandibula-movel/rubble-crusher>. Acesso em: 27 nov. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Cidades e Estados: Juiz de Fora*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/juiz-de-fora.html>. Acesso em: 27 nov. 2025.

ANEXO – Consentimento para uso de dados

TERMO DE CONSENTIMENTO PARA USO DE DADOS EMPRESARIAIS COM ANONIMATO

Pelo presente instrumento, as partes abaixo identificadas:

I – Parte Autorizadora:

Lucas Lovisi Procópio de Souza Sócio proprietário e Vinícius Contin Juste na função de Gerente representante da empresa DIAMOND EMPREENDIMENTOS IMOBILIARIOS LTDA- inscrita no CNPJ:28.855.905/0001-62, com sede à Av. Barão do Rio Branco, nº 3053, Sala 801, Centro, Juiz de Fora- MG.

II – Parte Autorizada:

Maysa Jéssica Guedes de Oliveira, mestranda no Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), sob orientação do Prof. Dr. Leonardo Rocha Olivi.

Têm entre si justo e acordado o seguinte:

- A Parte Autorizadora concorda em disponibilizar informações e dados internos relacionados à gestão de resíduos da construção civil, para fins exclusivos da pesquisa acadêmica.
- A Parte Autorizada compromete-se a utilizar tais informações de forma estritamente anônima, preservando a identidade da empresa, marca, localização exata e quaisquer elementos que possam permitir sua identificação direta ou indireta.
- As informações não serão utilizadas para fins comerciais, concorrenciais, promocionais, de divulgação pública ou repassadas a terceiros, limitando-se exclusivamente ao escopo da dissertação de mestrado vinculada à UFJF.
- A Parte Autorizadora declara estar ciente de que os dados serão tratados segundo os princípios da ética em pesquisa e das boas práticas acadêmicas, com total respeito à confidencialidade.
- Este termo entra em vigor na data de sua assinatura e permanecerá válido durante o desenvolvimento da pesquisa e publicação da dissertação.

Juiz de Fora, 13 de outubro de 2025.

Vinícius Contin Juste – Parte Autorizadora

Maysa Jéssica Guedes de Oliveira

Maysa Jéssica Guedes de Oliveira

Mestranda – Parte Autorizada