

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

BETÂNIA DE ALMEIDA RIBEIRO

**LOGÍSTICA REVERSA E RECICLAGEM DO VIDRO NO BRASIL: ESTUDO DE
CASO E ANÁLISE PELO MÉTODO PRISMA DE REVISÃO SISTEMÁTICA**

Juiz de Fora
2025

BETÂNIA DE ALMEIDA RIBEIRO

**LOGÍSTICA REVERSA E RECICLAGEM DO VIDRO NO BRASIL: ESTUDO DE
CASO E ANÁLISE PELO MÉTODO PRISMA DE REVISÃO SISTEMÁTICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Faculdade de Engenharia da Universidade
Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à
obtenção do grau de bacharel em Engenharia
Ambiental e Sanitária. Área de concentração:
Gestão de Resíduos Sólidos

Orientador: Doutor Samuel Rodrigues Castro

Coorientador: Doutora Ana Beatriz Mascarenhas Pereira

BETÂNIA DE ALMEIDA RIBEIRO

**LOGÍSTICA REVERSA E RECICLAGEM DO VIDRO NO BRASIL: ESTUDO DE
CASO E ANÁLISE PELO MÉTODO PRISMA DE REVISÃO SISTEMÁTICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Faculdade de Engenharia da Universidade
Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à
obtenção do grau de bacharel em Engenharia
Ambiental e Sanitária. Área de concentração:
Gestão de Resíduos Sólidos

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Doutor Samuel Rodrigues Castro - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Doutora Ana Beatriz Pereira - Coorientadora
Universidade Federal de Minas Gerais

Doutor Roberto Galery
Universidade Federal de Minas Gerais

Doutor Otávio Branco
Universidade Federal de Juiz de Fora

Mestre Fernanda Bento
Universidade Federal de Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe, Solange, que lutou incansavelmente para me proporcionar a oportunidade de estudar e conquistar meus objetivos, e ao meu pai, Sebastião, cuja dedicação e amor continuam a me inspirar, mesmo estando ausente fisicamente. A ambos, minha eterna gratidão. Ao meu orientador, professor Samuel, pela orientação e apoio fundamentais nesta jornada.

Aos meus amigos, que sempre me apoiaram, e a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para minha trajetória, oferecendo carinho e compreensão nos momentos difíceis.

Por fim, dedico este trabalho a mulher que me tornei pela persistência e capacidade de seguir em frente, superando os desafios que apareceram ao longo do caminho.

RESUMO

O vidro é um material totalmente reciclável, porém, o seu processo de reciclagem no Brasil enfrenta desafios significativos. Além disso, sua reciclagem resulta em novas embalagens, contribuindo para a sustentabilidade e reduzindo custos de coleta urbana e a pressão sobre aterros sanitários. O objetivo deste trabalho foi analisar a logística reversa e a reciclagem de vidro no Brasil, evidenciando os desafios e as oportunidades para o fortalecimento da economia circular. Para atingir esse objetivo, adotou-se uma abordagem dupla: uma revisão sistemática da literatura, fundamentada no protocolo PRISMA, e um estudo de caso baseado em dados operacionais de uma empresa de processamento e beneficiamento de vidros, situada em Juiz de Fora (MG). A metodologia permitiu identificar barreiras operacionais, logísticas e tecnológicas que prejudicam a eficácia dos sistemas de reciclagem, ao mesmo tempo em que possibilitou a análise prática dos processos de coleta, triagem e processamento do vidro ao longo do período de 2021 a 2024. Os principais resultados indicaram que, apesar do vidro ser um material 100% reciclável e de seu potencial ambiental ser elevado, deficiências na infraestrutura de coleta, na integração dos diversos atores e nas políticas públicas de incentivo comprometem sua recuperação. Conclui-se que investimentos em tecnologias de triagem, o fortalecimento das cooperativas de catadores e o aprimoramento das diretrizes regulamentares são fundamentais para viabilizar um sistema de logística reversa mais eficiente e sustentável.

Palavras-chave: Gerenciamento de resíduos, economia circular, coleta seletiva, pontos de entrega voluntária, catadores de resíduos.

ABSTRACT

Glass is a fully recyclable material; however, its recycling process in Brazil faces significant challenges. Furthermore, its recycling results in new packaging, contributing to sustainability and reducing urban collection costs and pressure on landfills. This study aims to analyze reverse logistics and glass recycling in Brazil, highlighting the challenges and opportunities for strengthening the circular economy. A dual approach was adopted, consisting of a systematic literature review based on the PRISMA protocol and a case study using operational data from a glass processing and beneficiation company, located in Juiz de Fora (MG). The methodology allowed for identifying operational, logistical, and technological barriers that hinder the effectiveness of recycling systems, while also enabling the practical analysis of glass collection, sorting, and processing from 2021 to 2024. The results show that, despite glass being 100% recyclable with high environmental potential, deficiencies in collection infrastructure, stakeholder integration, and public policies hinder its recovery. The study concludes that investments in sorting technologies, strengthening waste picker cooperatives, and improving regulatory guidelines are essential for enabling a more efficient and sustainable reverse logistics system.

Keywords: waste management, circular economy, selective collection, voluntary delivery points, waste pickers.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Etapas do PRISMA.	17
Figura 2 – Evolução Temporal das Publicações obtidas na Revisão Sistemática.	19
Figura 3 – Mapa da área de atuação da empresa de acordo com a quantidade de vidro coletada.....	38
Figura 4 – Fluxograma de operação da empresa.	41
Figura 5 – Processo de reciclagem do vidro.	42
Figura 6 – Comparação entre a quantidade de vidro coletada de 2021 a 2023 pelos Pontos de Entrega Voluntária (PEV) e pelas Associações de Catadores.	44
Figura 7 – Pós teste de Tukey para comparação da quantidade total de vidro coletado entre 2021 e 2023.	46
Figura 8 – Pós teste de Tukey para análise dos pontos de entrega voluntária.....	48
Figura 9 – Teste de Kruskal-Wallis para comparação das coletas realizadas pelas Associações de Catadores nos anos de 2021, 2022 e 2023.	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Critérios de classificação dos estudos.....	18
Quadro 2 – Resumo Logística Reversa	21
Quadro 3 – Resumo Reciclagem de vidro	26
Quadro 4 –Resumo Reciclagem na construção civil.	30
Quadro 5 – Dados de Coleta de Vidro.....	36
Quadro 6 – Resumo Reciclagem de vidro	39

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	10
1- INTRODUÇÃO GERAL	11
2- REVISÃO SISTEMÁTICA: PRISMA	15
2.1 Introdução	15
2.2 Material e Métodos	15
2.3 Resultados e Discussão	18
2.3.1 Logística Reversa	21
2.3.2 Reciclagem de vidro	25
2.3.3 Reciclagem na Construção Civil	29
2.4 Conclusão	32
3- ESTUDO DE CASO: JUIZ DE FORA	34
3.1 Introdução	34
3.2 Material e Métodos	34
3.2.1 Caracterização da área de estudo	34
3.2.2 Coleta e tratamento dos dados	35
3.3 Resultados e Discussão	38
3.3.1 Coleta do vidro: Origem	43
3.3.2 Análise Temporal	46
3.3.3 Desafios e perspectivas futuras	50
3.4 Conclusão	52
4- CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
5- REFERÊNCIAS	56

APRESENTAÇÃO

O Presente trabalho foi elaborado e avaliado no formato de monografia visando submissão no periódico Revista Engenharia Ambiental e Sanitária, área de concentração Engenharias I, Qualis Capes A4, de acordo com as normas definidas na Resolução nº 17/2023 do Colegiado do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da UFJF, como pré-requisito para aprovação na disciplina Trabalho Final de Curso II (ESA098).

1- INTRODUÇÃO GERAL

Os resíduos sólidos são materiais descartados provenientes de atividades humanas em diversos setores, como doméstico, industrial, comercial e de serviços, podendo ser recicláveis ou não. De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), eles incluem substâncias de origem urbana, hospitalar, agrícola e da construção civil, entre outras. Com o avanço da industrialização e o crescimento populacional, a produção de resíduos sólidos aumentou significativamente, tornando-se uma questão global de grande relevância. Esse cenário exige abordagens apropriadas para sua disposição, a fim de evitar e minimizar impactos ambientais adversos (SOUZA; MENDES, 2022).

A gestão de resíduos sólidos refere-se ao planejamento estratégico e à formulação de políticas públicas voltadas para o manejo adequado dos resíduos, incluindo a criação de normas e diretrizes para a coleta, tratamento e destinação final. Essa abordagem envolve principalmente ações governamentais e regulatórias, visando promover a sustentabilidade e reduzir os impactos ambientais. Em contrapartida, o gerenciamento de resíduos sólidos envolve a implementação prática dessas diretrizes no dia a dia, englobando atividades como coleta, transporte, reciclagem e destinação final. As operações de gerenciamento são realizadas por entidades públicas e privadas, que asseguram que os resíduos sejam tratados conforme as normas estabelecidas na gestão (BRASIL, 2010). A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) estabelece o marco legal que orienta tanto a gestão quanto o gerenciamento desses resíduos no Brasil, buscando minimizar os impactos ambientais negativos, como o aumento da poluição e o uso excessivo de recursos naturais, e promover práticas mais sustentáveis (SILVA FILHO; SOLER, 2015).

Nos centros urbanos, a sobrecarga dos locais destinados ao descarte e a limitação de espaços para estabelecer novos pontos de despejo destacam a urgência de repensar as estratégias de gestão de resíduos. Consequentemente, a gestão de resíduos sólidos emerge como um desafio de grande magnitude, especialmente nas áreas urbanizadas (SOUZA; MENDES, 2022)

Em 2023, o Brasil gerou aproximadamente 81 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, com uma média per capita de 382 kg por habitante (ABREMA, 2024). Desse total, cerca de 8% foram reciclados, o que representa um aumento em relação aos 4% registrados em 2022 (ABREMA, 2024). Esse avanço é atribuído, em grande parte, ao trabalho dos catadores

informais, responsáveis por aproximadamente dois terços dos materiais reciclados que chegam à indústria, enquanto a coleta seletiva municipal contribui com um terço (IPEA, 2024). No entanto, 41% dos resíduos ainda têm destinação inadequada, sendo encaminhados para lixões, aterros irregulares e outros locais impróprios, evidenciando a necessidade de melhorias na gestão de resíduos no país (ABREMA, 2024). Além disso, de acordo com dados do Panorama da Logística Reversa no Brasil, apresentado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) em 2023, a massa de embalagens recuperada foi composta por 28% de papel, 23% de plástico, 34% de vidro, 13% de metal e 2% de outros materiais. Nos últimos dois anos, foram recuperadas cerca de 1,6 milhão de toneladas de embalagens em geral (MMA, 2024).

A logística reversa é um processo que envolve o retorno dos produtos ou seus componentes ao ciclo produtivo, visando à reutilização, reciclagem ou descarte adequado. Ela busca minimizar o impacto ambiental causado pelo descarte inadequado de resíduos, promovendo a reutilização de materiais e o reaproveitamento de produtos após o fim de sua vida útil (BRASIL, 2010). A Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), introduziu a logística reversa como um elemento central para promover a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. Desde então, diversos setores têm se empenhado em desenvolver sistemas de logística reversa, priorizando a reintegração de produtos e embalagens usados em novos ciclos de utilização. O Decreto nº 10.936/2022 regulamenta a Lei nº 12.305/2010, estabelecendo diretrizes para a gestão sustentável dos resíduos sólidos, incluindo a logística reversa e a inclusão de catadores de materiais recicláveis (BRASIL, 2022a).

Ainda em 2022 houve a criação do Decreto nº 11.043/2022 que institui o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), trazendo diretrizes, metas, estratégias e ações para modernizar a gestão de resíduos sólidos no Brasil (BRASIL, 2022c).

A gestão de resíduos sólidos no Brasil tem avançado por meio de normas que promovem a economia circular e incentivam práticas sustentáveis. O Decreto nº 11.413/2023 institui o Certificado de Crédito de Reciclagem de Logística Reversa, o Certificado de Estruturação e Reciclagem de Embalagens em Geral e o Certificado de Crédito de Massa Futura, dentro dos sistemas de logística reversa previstos no artigo 33 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Já o Decreto nº 11.706/2023 alterou o Decreto nº 11.414/2023, que criou o Programa Diogo de

Sant'Ana, com o objetivo de promover a reciclagem popular e a inclusão socioeconômica de catadores e catadoras de materiais recicláveis e reutilizáveis (BRASIL, 2023a; BRASIL, 2023b).

A Lei nº 14.260/2021, regulamentada pelo Decreto nº 12.106/2024, institui a Lei de Incentivo à Reciclagem (LIR), permitindo a dedução de impostos para investimentos em projetos de reciclagem (BRASIL, 2024a). Já a Portaria GM/MMA nº 1.250/2024 define critérios para aprovação e monitoramento desses projetos, além de criar a Comissão Nacional de Incentivo à Reciclagem (CNIR) e integrar as informações ao SINIR+, garantindo transparência e controle (BRASIL, 2024b).

Destacando-se, o vidro representa 2,7% do total de resíduos sólidos urbanos gerados e é um material totalmente reciclável, porém, o seu processo de reciclagem no Brasil enfrenta desafios significativos, apesar de ser uma opção altamente vantajosa para a reciclagem devido à sua capacidade de minimizar a extração de recursos naturais e reduzir as emissões de CO₂ (ABIVIDRO, 2021). Além disso, sua reciclagem resulta em novas embalagens sem perda de qualidade, contribuindo para a sustentabilidade e reduzindo custos de coleta urbana e a pressão sobre aterros sanitários (ABIVIDRO, 2021).

Dados da Associação Brasileira das Indústrias de Vidro (ABIVIDRO) mostram que cerca de 8,6 bilhões de unidades de vidro são produzidas anualmente no país, totalizando aproximadamente 1,3 milhões de toneladas, mas apenas 300 mil toneladas (cerca de 25%) são recicladas devido a obstáculos como falta de coleta seletiva, descarte inadequado e desafios logísticos (ABIVIDRO, 2022).

Esse cenário ressalta a urgência de aprimorar os sistemas de gestão de resíduos e promover a reciclagem do vidro, considerando que seu tempo de decomposição é estimado em um milhão de anos (ABIVIDRO, 2022).

A abordagem da reciclagem de vidro no Brasil encontra respaldo em um arcabouço legal e normativo que visa promover a gestão sustentável dos resíduos sólidos e estimular a economia circular. O Decreto nº 11.300, de 21 de dezembro de 2022, regulamenta o sistema de logística reversa de embalagens de vidro, envolvendo a participação de diferentes atores da cadeia produtiva, como fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes e consumidores. Esse decreto define procedimentos para a devolução e o tratamento adequado das embalagens de vidro, visando promover a reciclagem e reduzir o impacto ambiental, conforme previsto na legislação (BRASIL, 2022).

A operacionalização da reciclagem de vidro enfrenta desafios nas regiões Norte e Nordeste, onde a densidade industrial é menor e a infraestrutura de coleta seletiva é mais limitada. Para enfrentar esses obstáculos, algumas iniciativas buscam expandir a reciclagem de vidro, como a instalação de novas plantas de beneficiamento nessas regiões, com o objetivo de promover maior inclusão no sistema nacional de reciclagem (AMBIPAR, 2023).

Em 2022, a Organização das Nações Unidas (ONU) declarou o Ano Internacional do Vidro, destacando a importância desse material em diversos setores da sociedade e sua contribuição para um futuro mais sustentável. A iniciativa visou aumentar a conscientização sobre o papel do vidro nas tecnologias modernas e na sustentabilidade, promovendo discussões sobre seu impacto ambiental e a necessidade de práticas eficientes de reciclagem (UNITED NATIONS, 2021).

Essa declaração da ONU trouxe visibilidade significativa ao tema, incentivando governos, indústrias e comunidades acadêmicas a aprofundarem suas pesquisas e ações relacionadas à reciclagem do vidro. Esse material, amplamente utilizado em embalagens, construção e tecnologia, possui características que o tornam ideal para a reciclagem, como a possibilidade de ser reciclado sem perda de qualidade, o que permite seu reaproveitamento contínuo (FEVE, 2022).

Diante do exposto, o trabalho busca contribuir para o avanço do conhecimento científico sobre a reciclagem de vidro no Brasil, promovendo reflexões sobre sua relevância na economia circular, nos aspectos técnicos, ambientais e sociais, e na promoção de políticas públicas mais eficazes no setor.

2- REVISÃO SISTEMÁTICA: PRISMA

2.1 Introdução

Nos últimos séculos, o mundo tem passado por profundas transformações, especialmente no que diz respeito às questões ambientais. Essas mudanças têm gerado desequilíbrios ecológicos e alterações climáticas perceptíveis, não apenas devido ao aumento populacional e a determinados avanços tecnológicos que intensificam a exploração dos recursos naturais, mas também em função do consumo desenfreado impulsionado pelo modo de produção capitalista e da inércia na adoção de medidas efetivas para mitigar os impactos ambientais resultantes desse modelo (DA SILVA; GENNARI, 2020).

Com o advento da globalização, processo de integração econômica, social e cultural entre países impulsionado pelo avanço tecnológico e comercial, as empresas tiveram que se reestruturar, adotando novas tecnologias e expandindo suas operações além das fronteiras físicas. No entanto, apesar dos benefícios, a globalização também intensificou impactos ambientais negativos, como o aumento na geração de resíduos sólidos e a exploração excessiva de recursos naturais, exigindo mudanças políticas, econômicas, sociais e tecnológicas para enfrentar esses desafios (PACHECO, 2023).

A etapa do presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura científica acerca da logística reversa e da reciclagem de vidro no Brasil, fundamentando-se no método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Busca-se, por meio dessa revisão, identificar lacunas no conhecimento, tendências de pesquisa e os principais desafios relacionados ao tema.

2.2 Material e Métodos

A revisão sistemática foi conduzida utilizando duas importantes bases de dados acadêmicas: o Google Acadêmico e o Portal de Periódicos da CAPES. Essas bases foram escolhidas por sua abrangência e acesso a uma ampla gama de artigos científicos revisados por pares.

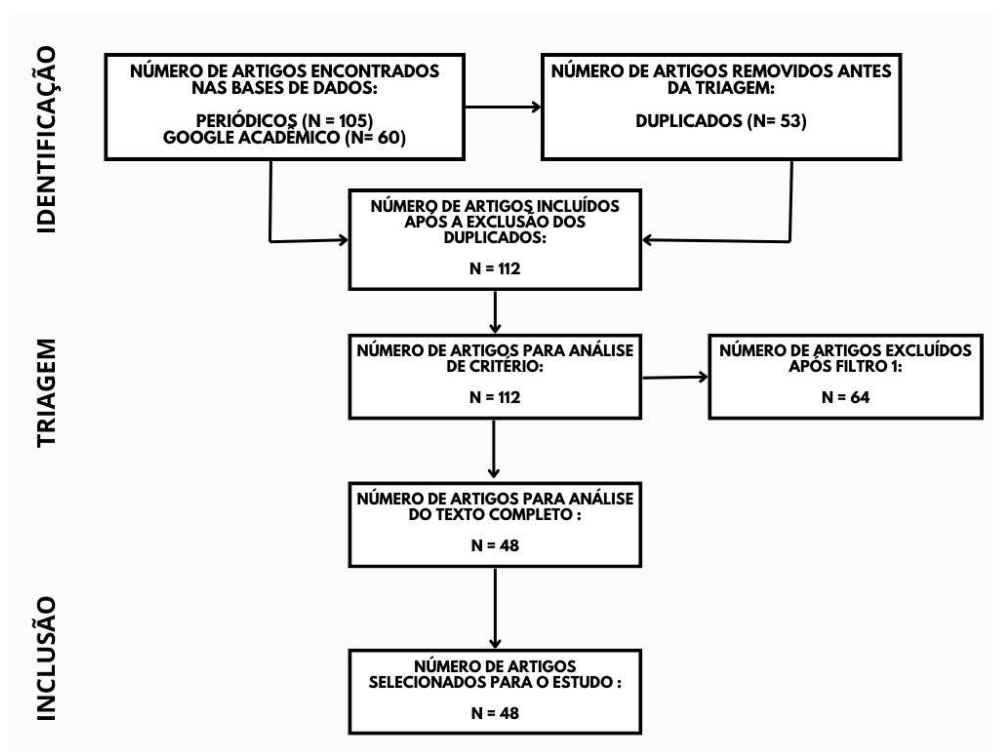
Além disso, a metodologia de pesquisa aplicada foi a PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), um conjunto de diretrizes amplamente

reconhecido para condução e relato de revisões sistemáticas e meta-análises. A PRISMA fornece um roteiro claro e transparente para cada etapa do processo de revisão sistemática, desde a elaboração do protocolo até a apresentação dos resultados (MOHER et al., 2009). As quatro etapas principais da metodologia PRISMA são:

1. Identificação: Inicialmente, foi realizada uma busca sistemática utilizando termos relacionados à reciclagem e à logística reversa do vidro. Na base de dados da CAPES, foram empregadas duas estratégias de pesquisa: uma busca simples com o termo "reciclagem de vidro" e uma busca avançada com os termos "logística reversa" e "vidro". No Google Acadêmico, foram conduzidas buscas avançadas utilizando os seguintes critérios: (i) o termo "reciclagem de vidro" combinado com "vidro" no título dos artigos e (ii) o termo "logística reversa" com "vidro" também no título dos artigos. Essa abordagem permitiu uma seleção mais precisa dos estudos relevantes para a pesquisa.
2. Seleção: Na fase de seleção, os artigos identificados foram triados com base em critérios de inclusão e exclusão predefinidos. Os critérios de exclusão incluíram artigos duplicados e aqueles que não tinham relação com reciclagem ou logística reversa do vidro. Inicialmente, a triagem foi realizada pela leitura dos títulos e resumos dos artigos, eliminando aqueles que não eram pertinentes ao tema.
3. Extração de dados: Para os artigos selecionados, foi realizada uma leitura detalhada dos resumos para verificar a relevância e a aplicabilidade do conteúdo na revisão sistemática. Os dados relevantes dos estudos incluídos foram extraídos utilizando um formulário padronizado. As informações coletadas incluíram detalhes sobre os métodos dos estudos, características dos participantes, intervenções e resultados.
4. Síntese dos dados: Na etapa final, os dados extraídos foram analisados e combinados. Dependendo da homogeneidade dos dados, uma meta-análise foi realizada ou, caso a heterogeneidade fosse alta, uma síntese narrativa foi utilizada. Os resultados foram então apresentados de maneira estruturada, seguindo as diretrizes PRISMA.

A seguir, apresenta-se o fluxograma - Figura 1, que ilustra o processo de seleção dos estudos ao longo da revisão sistemática.

Figura 1 – Etapas do PRISMA.



Fonte: Autora (2024)

Os artigos selecionados foram então submetidos a uma análise detalhada de acordo com a metodologia PRISMA, visando fornecer uma revisão sistemática completa e imparcial sobre os temas de reciclagem de vidro e logística reversa.

Para a análise quantitativa, os 48 artigos selecionados foram analisados em termos de frequência de publicações ao longo do tempo. Uma série temporal das publicações foi construída para mostrar a evolução do número de estudos ao longo dos anos.

A análise qualitativa foi conduzida sobre o conteúdo dos trabalhos selecionados nas etapas mencionadas anteriormente. Essa análise visou investigar em profundidade 13 artigos e seus tópicos abordados, além de subdividi-los de acordo com diferentes subsetores da reciclagem de vidro e da logística reversa do vidro. Os artigos foram categorizados conforme os seguintes critérios: emprego do material, foco principal, tipo de estudo e aspectos comuns. O Quadro 1 traz a descrição da análise.

Quadro 1 – Critérios de classificação dos estudos.

Critério	Descrição	Categorias
Emprego do Material	Identificação da aplicação do vidro reciclado.	- Construção civil (concreto, revestimentos, pavimentação). - Fabricação de novos materiais.
Foco Principal	Diferenciação entre os temas abordados nos estudos.	- Logística reversa do vidro (coleta, transporte, reintegração na cadeia produtiva). - Reciclagem do vidro (processamento e reuso do material).
Aspectos Comuns Analisados	Identificação de padrões recorrentes entre os estudos.	- Metodologias empregadas. - Resultados obtidos (taxas de reciclagem, impactos ambientais e econômicos). - Desafios relatados na implementação da reciclagem e logística reversa.
Classificação dos Estudos sobre Reciclagem do Vidro	Subcategorização dos artigos voltados para a reciclagem.	- Uso do vidro reciclado na construção civil. - Estudos de caso e revisão específicos sobre reciclagem.

Fonte: Autora (2024).

Essa metodologia permitiu uma compreensão detalhada das diferentes abordagens e aplicações da reciclagem e logística reversa do vidro, destacando as contribuições e lacunas na literatura existente.

2.3 Resultados e Discussão

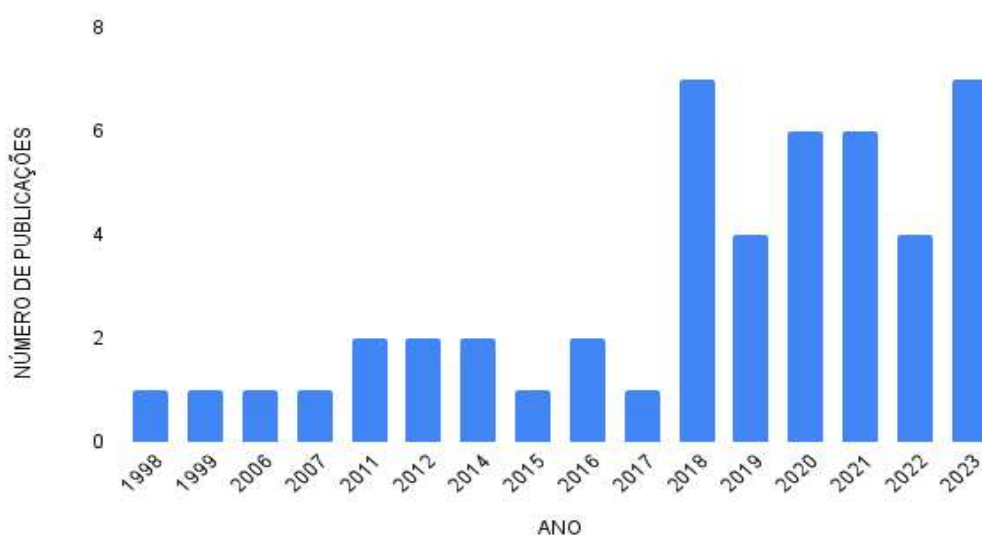
A reciclagem de vidro e a logística reversa são estratégias essenciais para a economia circular, reduzindo os impactos ambientais dos resíduos sólidos urbanos. A eficácia desses processos depende da infraestrutura disponível, das políticas públicas de incentivo e do engajamento dos setores envolvidos (SILVA, 2021). A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, estabelece diretrizes para a destinação correta dos resíduos e reforça a responsabilidade compartilhada entre consumidores, fabricantes e distribuidores na gestão dos materiais descartados (BRASIL, 2010).

Além da reutilização para novas embalagens, a reciclagem do vidro tem aplicações na construção civil, onde materiais cimentícios podem ser aprimorados com a adição de vidro moído (SOUSA-NETO, 2014). No entanto, desafios como altos custos logísticos, falta de incentivos financeiros e dificuldades operacionais das cooperativas ainda limitam a expansão dessas iniciativas (MELO et al., 2023; FREITAS; MARTINS, 2023).

Dessa forma, a reciclagem de vidro e a logística reversa devem ser integradas a um sistema mais amplo de gestão de resíduos, exigindo a colaboração entre governos, indústrias e sociedade civil para garantir um futuro mais sustentável (RIBEIRO et al., 2014).

A Figura 2, apresenta a série temporal das publicações utilizadas na revisão sistemática. Ela ilustra a distribuição dos estudos ao longo dos anos, permitindo a identificação de tendências na produção acadêmica sobre o tema.

Figura 2 – Evolução Temporal das Publicações obtidas na Revisão Sistemática.



Fonte: Autora (2024).

A análise dos dados sobre a quantidade de publicações relacionadas à reciclagem de vidro revela padrões e tendências significativas que oferecem insights valiosos sobre o desenvolvimento desse campo de pesquisa no Brasil. Ao longo do período analisado, que abrange desde 1998 até 2023, observou-se um aumento gradual e consistente no número de publicações, indicando um crescente interesse e engajamento acadêmico nessa área.

Inicialmente, entre 1998 e 2007, o número de publicações permaneceu relativamente baixo, com apenas uma publicação por ano. Esse período pode ser interpretado como uma fase inicial de exploração e estabelecimento de fundamentos teóricos e metodológicos no campo da reciclagem de vidro. A partir de 2011, no entanto, uma mudança significativa ocorreu, marcada pelo início de um aumento consistente no número de publicações.

Uma possível justificativa para essa mudança significativa pode ser encontrada na criação da Lei 12.305 de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) no Brasil. Essa legislação estabeleceu diretrizes e instrumentos para a gestão adequada dos resíduos sólidos, promovendo a prevenção, a redução, a reciclagem e o tratamento adequado dos resíduos, incluindo os resíduos de vidro. A implementação da PNRS pode ter impulsionado o interesse e a pesquisa relacionada à reciclagem de vidro, à medida que os pesquisadores buscavam compreender e contribuir para o avanço das práticas de gestão e reciclagem de resíduos em conformidade com a nova legislação.

Os anos subsequentes, especialmente 2018, 2020 e 2021, destacam-se como períodos de intensa atividade de pesquisa, evidenciados pelos picos notáveis no número de publicações. Esses picos podem ser atribuídos a uma variedade de fatores, incluindo avanços tecnológicos, mudanças nas políticas governamentais, pressões ambientais crescentes e o surgimento de novas abordagens metodológicas. Tais eventos podem ter estimulado um interesse renovado e uma maior produção de conhecimento científico sobre a reciclagem de vidro.

Além disso, um tema mais recente que tem ganhado destaque nas pesquisas é a logística reversa do vidro. A implementação de sistemas eficazes de logística reversa é essencial para garantir o fluxo contínuo de resíduos de vidro de volta à cadeia de produção, reduzindo assim a demanda por matéria-prima virgem e minimizando os impactos ambientais associados à extração e processamento de novos materiais. O crescente reconhecimento da importância da logística reversa do vidro como uma estratégia chave para a sustentabilidade ambiental provavelmente contribuiu para o aumento das publicações sobre o tema ao longo dos anos.

É interessante notar que, apesar das variações anuais, os últimos anos da série temporal (2022 e 2023) mostram uma estabilização no número de publicações, mantendo-se em torno de 4 a 7 publicações por ano. Esse fenômeno pode indicar uma consolidação do campo de pesquisa, onde os pesquisadores estão se concentrando em questões mais específicas ou refinando abordagens existentes.

A tendência geral de crescimento nas publicações sobre reciclagem de vidro ao longo dos anos reflete não apenas um aumento no interesse acadêmico, mas também a crescente conscientização sobre a importância da sustentabilidade ambiental e a necessidade de soluções inovadoras para lidar com os resíduos sólidos. Portanto, essa análise não apenas documenta a evolução do conhecimento científico nesse campo, mas também destaca a sua relevância crescente em um contexto global de preocupações ambientais e desenvolvimento sustentável.

2.3.1 Logística Reversa

A seguir, apresenta-se um quadro resumo – Quadro 2 com os principais estudos sobre a logística reversa do vidro, que foram analisados na revisão sistemática. Ele destaca a referência, os objetivos das pesquisas e os principais resultados encontrados.

Quadro 2 – Resumo Logística Reversa

(continua)

Referência	Objetivo	Principais Resultados
OLIVEIRA NETO et al., (2014)	Analisar os benefícios econômicos e ambientais da implementação de Logística Reversa em uma empresa de fabricação de vidros.	A Logística Reversa mostrou-se economicamente viável, com uma economia de R\$ 548.188,00. O vidro foi 100% reciclado, e a reciclagem gerou reduções significativas de poluentes na água e no ar. A prática gerou 37% da receita líquida da empresa, destacando o impacto positivo econômico e ambiental.
ARAÚJO E CASTRO (2018)	O estudo compara o retorno ambiental das garrafas PET e vidro em Salvador, analisando o aproveitamento desses materiais pelas cooperativas e os desafios para implementar a Logística Reversa.	A reciclagem contribui para a redução de resíduos, preservação de recursos naturais e geração de empregos. A Logística Reversa é vista como um diferencial estratégico para empresas. O artigo também destaca a importância da educação ambiental para o sucesso da coleta seletiva.
QUEIROZ (2021)	O trabalho busca analisar a logística reversa de embalagens de vidro, destacando suas vantagens, desafios e impactos ambientais	Os resultados indicam que a logística reversa do vidro é viável, apesar de desafios na implementação, e sugere a necessidade de mais pesquisas sobre o tema.

(conclusão)

Referência	Objetivo	Principais Resultados
PIMENTEL et al. (2023)	Conhecer quais são os óbices da logística reversa relacionados à reciclagem do vidro realizadas pelas cooperativas, pelas empresas privadas e por autônomos catadores de reciclados	O estudo concluiu que os principais desafios na coleta de vidro são segurança para coletores e fatores econômicos para gestores, com menor impacto dos problemas logísticos. Embora a maioria já colete vidro, muitos consideram a atividade pouco viável. A pesquisa preenche uma lacuna sobre o tema e sugere futuras análises de custos e viabilidade.
CROCE (2023)	O estudo analisou a viabilidade financeira da logística reversa do vidro no Brasil, simulando cenários com diferentes volumes e fontes de coleta, e calculando custos de transporte e operação dos centros de consolidação e trituração.	O estudo revelou que a logística reversa do vidro enfrenta desafios financeiros, especialmente nas regiões Norte e Centro-Oeste, devido aos altos custos de transporte. Foi sugerida a localização de novas recicladoras em regiões estratégicas para melhorar a viabilidade econômica e uma gestão centralizada para otimizar a cadeia de reciclagem. A falta de dados e a fragmentação da gestão dificultam o progresso, e o estudo recomenda políticas públicas mais eficientes e estudos sobre alternativas de transporte.

Fonte: Autora (2024).

A logística reversa tem se tornado um tema central nas discussões sobre sustentabilidade e gestão de resíduos, especialmente no setor de embalagens de vidro (BRASIL, 2022). Esse conceito envolve o retorno de produtos pós-consumo ao ciclo produtivo, minimizando os impactos ambientais e promovendo a reutilização de materiais. A crescente preocupação com a sustentabilidade tem impulsionado pesquisas que analisam os desafios e as oportunidades da logística reversa aplicada ao setor de reciclagem de vidro. Queiroz (2021) destaca que, apesar das vantagens ambientais da logística reversa de embalagens de vidro, sua implementação enfrenta obstáculos significativos relacionados à infraestrutura deficiente e à falta de conscientização dos agentes envolvidos.

Diversos desafios têm sido apontados no processo de reciclagem do vidro. Um dos principais obstáculos é a fragmentação da cadeia de reciclagem, bem como a escassez de

incentivos econômicos para viabilizar a prática. A falta de incentivos fiscais, juntamente com a burocracia excessiva, desestimula o investimento das empresas em sistemas de logística reversa (FLEISCHMANN et al., 2021). Além disso, o elevado custo inicial para implementar esses sistemas, especialmente no que diz respeito ao desenvolvimento de tecnologias de rastreamento e ao gerenciamento de resíduos em grande escala, dificulta a adoção de práticas mais eficientes. Sem políticas públicas adequadas e incentivos fiscais, muitas empresas hesitam em adotar essas práticas, mesmo com os benefícios de longo prazo (FLEISCHMANN et al., 2021).

Outro fator relevante na logística reversa do vidro é o papel das cooperativas de catadores, que desempenham uma função essencial na coleta e triagem do material. Araújo e Castro (2018) analisaram a atuação de cooperativas na cidade de Salvador e observaram que a falta de infraestrutura adequada e a remuneração insuficiente para os catadores são fatores limitantes para a expansão da reciclagem do vidro.

Outro aspecto importante da logística reversa é sua viabilidade financeira. Croce (2023) desenvolveu um modelo de rede logística que avalia os custos e os benefícios da logística reversa no Brasil. Os resultados indicam que, apesar dos desafios, a reciclagem do vidro pode se tornar um setor economicamente viável com o apoio de políticas governamentais e parcerias público-privadas.

A logística reversa do vidro enfrenta desafios adicionais no Brasil, especialmente devido à predominância da coleta manual, à fragilidade do material e à falta de infraestrutura adequada para a separação e reaproveitamento (MORAES, 2021). Em comparação com países desenvolvidos, onde a coleta de vidro ocorre de forma automatizada e com menos risco de acidentes, o Brasil ainda precisa superar barreiras estruturais para tornar o processo eficiente e economicamente viável (CROCE, 2023). Uma análise comparativa entre o Brasil e a Áustria revela que, enquanto a Áustria apresenta uma taxa de reciclagem de vidro próxima a 90%, o Brasil recicla entre 45% e 49% do vidro produzido (MORAES, 2021). Essa diferença é atribuída à infraestrutura mais avançada e à participação ativa da população na gestão de resíduos na Áustria, contrastando com os desafios enfrentados no Brasil, como a falta de infraestrutura e planejamento, além da necessidade de uma definição clara das responsabilidades dos stakeholders e maior participação da população (MORAES, 2021). Além disso, um estudo de modelagem de rede logística realizado por Croce (2023) indica que a viabilidade financeira da logística reversa do vidro no Brasil é comprometida devido a grandes distâncias de transporte e

ao baixo valor de venda do vidro reciclável às recicladoras, especialmente nas regiões Norte, Centro-Oeste e Nordeste. Esses fatores tornam o processo menos eficiente e economicamente viável em comparação com países desenvolvidos, onde a infraestrutura e os processos de coleta são mais avançados (CROCE, 2023).

A pesquisa de Ribeiro et al. (2014) revela que 83,3% dos coletores de vidro no Brasil apontam os riscos à saúde e segurança como os principais desafios, devido à alta probabilidade de cortes e lesões durante a manipulação do material. Além disso, 66,7% dos gestores relatam que os altos custos operacionais e a baixa lucratividade do vidro reciclado dificultam a ampliação das cadeias de reaproveitamento. Essa realidade compromete o crescimento da reciclagem e afeta diretamente as cooperativas de catadores, que são fundamentais nesse processo.

Para enfrentar esses desafios, uma série de soluções são sugeridas, a começar pela coleta do vidro em fração única, separando-o dos outros materiais recicláveis. Essa abordagem garante segurança e reduz a contaminação de outros resíduos, como o papel. Além disso, o uso de sistemas do tipo "bring" (pontos de entrega voluntária – PEVs) pode reduzir os custos de transporte e triagem, otimizando a logística e aumentando a adesão da população (RIBEIRO et al., 2014).

A introdução de tecnologias de triagem automatizada em instalações de recuperação de materiais tem se mostrado uma solução promissora para aumentar a eficiência da reciclagem de materiais. Embora o investimento inicial necessário seja elevado, a automatização desses processos pode reduzir significativamente a necessidade de separação manual, diminuir o número de acidentes e aprimorar a eficiência no processamento dos materiais recicláveis. Ponciano et al. (2022) destacam que a separação automatizada, quando comparada aos métodos tradicionais de triagem manual, proporciona avanços importantes, como maior precisão, rapidez e escalabilidade. A utilização de tecnologias como sensores ópticos, equipamentos de detecção por infravermelho e máquinas de classificação por tamanho e densidade permite identificar e separar com maior eficácia os diferentes tipos de materiais presentes nos resíduos recicláveis. Além disso, essa tecnologia contribui para a redução de custos operacionais e melhora as condições de trabalho nas instalações de reciclagem (PONCIANO et al., 2022).

A logística reversa do vidro no Brasil, embora promissora em termos ambientais e econômicos, ainda enfrenta desafios significativos que demandam ações coordenadas entre o governo, empresas e a sociedade. A infraestrutura deficiente, a falta de incentivos fiscais, as

dificuldades logísticas e as barreiras culturais são obstáculos que dificultam o avanço da reciclagem de vidro. Contudo, a implementação de tecnologias inovadoras, como a triagem automatizada e a coleta em fração única, pode ajudar a superar parte desses desafios, tornando o processo mais eficiente e seguro.

Além disso, a expansão de programas de incentivos financeiros, pode gerar benefícios substanciais tanto para as cooperativas de catadores quanto para o meio ambiente. Ao adotar soluções tecnológicas e políticas públicas adequadas, é possível criar um ciclo virtuoso que aumente a taxa de reciclagem, reduza os impactos ambientais e gere vantagens econômicas, tornando a logística reversa do vidro no Brasil mais eficaz e sustentável.

Em suma, a logística reversa do vidro no Brasil possui um grande potencial para transformar a gestão de resíduos no país. Para que isso se torne uma realidade, é essencial que as soluções tecnológicas, os incentivos fiscais e as políticas públicas eficazes sejam implementadas de forma coordenada entre os diversos stakeholders. O fortalecimento das cooperativas de catadores, a adoção de tecnologias inovadoras e a criação de um ambiente favorável à reciclagem de vidro são os caminhos necessários para tornar o processo mais eficiente e sustentável. Com esses esforços, será possível aumentar a taxa de reciclagem, gerar benefícios ambientais e econômicos, além de contribuir para um futuro mais sustentável e circular.

2.3.2 Reciclagem de vidro

A reciclagem de vidro tem se tornado uma prática cada vez mais essencial, principalmente devido aos impactos ambientais da produção e do descarte inadequado desse material. O vidro é 100% reciclável, podendo ser reutilizado infinitamente sem perda de qualidade (ABIVIDRO, 2021). No entanto, desafios operacionais e logísticos limitam a eficiência da reciclagem em larga escala. Com base nas pesquisas revisadas, o Quadro 3 sintetiza os principais estudos sobre a reciclagem de vidro, destacando os objetivos e resultados de cada um.

Quadro 3 – Resumo Reciclagem de vidro

(continua)

Referência	Objetivo	Principais Resultados
PACHECO (2023)	Realizar um levantamento minucioso da reciclagem do vidro embalagem no Brasil, envolvendo as dificuldades na coleta, o processamento desse material, os interesses econômicos e sociais até sua reutilização.	A reciclagem de vidro traz benefícios ambientais e econômicos, como a redução de emissões e custos, além de criar empregos. Contudo, enfrenta desafios como a infraestrutura inadequada e a falta de conscientização. O sucesso futuro depende de políticas públicas eficazes, inovação e colaboração entre os setores.
MELO et al. (2023)	O objetivo da pesquisa, a partir da conjuntura atual do gerenciamento de resíduos do vidro, é avaliar como se deu a evolução da reciclagem dos resíduos vítreos no país e demonstrar a importância da logística reversa para amenizar os impactos causados pelos resíduos em questão.	A pesquisa mostra que a reciclagem do vidro no Brasil é limitada por altos custos e desafios logísticos. Leis como os Decretos 11.300/22 e 11.044/22 são fundamentais para fortalecer a logística reversa. A inovação tecnológica e o uso de embalagens alternativas podem impulsionar a reciclagem. Sugere-se investigar a aplicação dos recursos da compensação ambiental.
LEMOS (2012)	Realizar o diagnóstico da cadeia de reciclagem das embalagens de vidro em Santa Catarina, visando o conhecimento da sua estrutura.	A pesquisa mostra que a reciclagem do vidro é limitada por custos logísticos, baixa remuneração e falta de investimentos. Pequenos recicladores enfrentam dificuldades financeiras, enquanto grandes indústrias dominam o setor. Propõem-se incentivos fiscais, fixação de preços mínimos e parcerias para melhorar a coleta e o manejo. Estudos sobre logística e novas tecnologias são recomendados.

(conclusão)

Referência	Objetivo	Principais Resultados
FREITAS E MARTINS (2023)	Analisar os processos de reciclagem do vidro na cidade de Goiânia e os métodos de coleta desses resíduos, viabilizados pela coleta seletiva que atende a 14 cooperativas. O foco central foi a Rede de Cooperativas Central UNIFORTE, incubada pela Universidade Federal de Goiás (UFG), que assessora seis dessas cooperativas de reciclagem.	O estudo destacou a criação de uma unidade de processamento de vidro e a aquisição de um triturador, o que aumentou a eficiência da reciclagem e a receita das cooperativas. A moagem do vidro trouxe benefícios ambientais, como a redução dos custos logísticos e a emissão de CO ₂ . A pesquisa concluiu que o engajamento da sociedade é essencial para diminuir o descarte inadequado de vidro e fortalecer a reciclagem na região
SANTANA et al. (2022)	Avaliar o impacto do programa Bolsa Reciclagem no mercado de reciclagem de vidro em Minas Gerais, analisando como ele contribui para a reintegração de resíduos na cadeia produtiva, a inclusão social dos catadores e a comercialização do vidro, especialmente o de baixo valor.	Os resultados indicaram que o Bolsa Reciclagem atingiu seus objetivos fundamentais, proporcionando benefícios sociais e econômicos ao promover a inclusão social dos catadores e aumentar a comercialização do vidro de baixo valor de mercado. Além disso, o programa serviu como um importante suporte durante períodos de alta volatilidade nos preços de mercado, garantindo a continuidade dos serviços ambientais e as externalidades positivas associadas à reciclagem do vidro.

Fonte: Autora (2024).

Pacheco (2023) destaca que a reciclagem de vidro contribui significativamente para a redução da extração de recursos naturais, economia de energia e diminuição da emissão de gases de efeito estufa. Jaime (2019) enfatiza a importância da qualidade do caco de vidro no processo, evidenciando a necessidade de aprimorar a triagem e a coleta seletiva.

A logística reversa, por sua vez, desempenha papel fundamental na viabilidade da reciclagem de vidro. Melo et al. (2023) apontam que a infraestrutura inadequada e a baixa adesão ao descarte correto são entraves significativos ao setor. Lemos (2012) corrobora essa análise, observando a necessidade de políticas públicas mais eficazes para melhorar as condições de coleta e reciclagem. Em Goiânia, Freitas e Martins (2023) identificaram que a falta de

investimentos e infraestrutura deficiente comprometem a recuperação do vidro, refletindo um cenário comum em muitas regiões.

Um exemplo positivo da integração de políticas públicas é o programa Bolsa Reciclagem, analisado por Santana et al. (2022). O programa, estabelecido pela Lei nº 19.823/2011, promoveu a organização de cooperativas e estruturou o mercado de vidro reciclado em Minas Gerais, oferecendo incentivos financeiros para estimular a segregação, enfardamento e comercialização dos materiais recicláveis (MEIO AMBIENTE, 2022). Os autores observaram um aumento de 30% na taxa de reciclagem de vidro na região, conforme estabelecido pelo Decreto nº 11.044/2022.

Além disso, a coleta seletiva bem estruturada é essencial para elevar as taxas de reciclagem. Mafrá (2018) destaca a importância da educação ambiental e da separação eficiente dos resíduos. Contudo, Melo et al. (2023) e Pacheco (2023) alertam para a baixa rentabilidade do vidro reciclado, os altos custos logísticos e a concentração das indústrias de beneficiamento em algumas capitais, fatores que dificultam a expansão da reciclagem e desestimulam a participação de cooperativas e catadores.

A pandemia de Covid-19 (2020-2022) agravou os desafios da gestão de resíduos sólidos urbanos, alterando padrões de consumo e descarte (TARDIM; ALMADA, 2021). O aumento do uso de embalagens gerou um maior volume de resíduos de vidro, evidenciando a necessidade de políticas públicas mais eficazes para lidar com esse aumento e incentivar a reciclagem. Nesse contexto, é fundamental que as iniciativas estejam alinhadas à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010) para minimizar os impactos ambientais e otimizar o uso de matérias-primas.

Estudos como os de Viana e Silva (2018) e Silva, Pereira e Oliveira (2013) mostram que sistemas eficientes de logística reversa reduzem custos operacionais e ampliam a reutilização de garrafas na cadeia produtiva. No entanto, Melo et al. (2023) e Pimentel et al. (2023) destacam que a infraestrutura deficiente e a falta de incentivos financeiros comprometem a consolidação da reciclagem no Brasil, evidenciando a necessidade de políticas públicas mais robustas e integradas, alinhadas à economia circular.

A reciclagem de vidro no Brasil tem avançado, especialmente após a implementação do Decreto nº 11.300/2022, que estabeleceu metas claras para o setor. Em 2024, a indústria de vidro atingiu a meta de 25% de reciclagem, conforme reportado pelo Valor Econômico em 21 de

fevereiro de 2025. Esse progresso foi impulsionado principalmente pelo setor de bebidas, que desempenhou um papel crucial na logística reversa, apesar dos desafios persistentes na eficiência da coleta seletiva (VALOR ECONÔMICO, 2025).

O cumprimento da meta de 25% de reciclagem de vidro no primeiro ano de operação da entidade gestora foi alcançado, conforme relatado pela ABREMA (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais). Além disso, foi atingido o requisito de mais de 32% de conteúdo reciclado no vidro produzido, conforme as metas estabelecidas pelo Decreto 11.300/22. Para promover avanços nas regiões Norte, Centro-Oeste e Nordeste, é apontada como estratégia a inclusão de mais cooperativas de catadores, visando ampliar a reciclagem nessas áreas (ABREMA, 2025; ABRAVIDRO, 2025).

A participação ativa dos catadores tem mostrado um impacto positivo nos índices de reciclagem. Em 2023, a reciclagem aumentou de 3,5% para 8,3%, conforme dados da Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA, 2024). Esse aumento reflete a eficácia das políticas públicas e programas de incentivo implementados nos últimos anos.

Esses avanços corroboram a importância de uma coleta seletiva bem estruturada e da educação ambiental para aumentar as taxas de reciclagem, conforme destacado por Mafra (2018). No entanto, desafios como a baixa rentabilidade do vidro reciclado e os elevados custos logísticos, apontados por Melo et al. (2023) e Pacheco (2023), ainda precisam ser superados para expandir a reciclagem de vidro de maneira sustentável em todo o país.

2.3.3 Reciclagem na Construção Civil

A reciclagem de vidro tem sido amplamente estudada como uma alternativa sustentável para reduzir o impacto ambiental e melhorar a gestão de resíduos sólidos urbanos. Diversos estudos de caso demonstram a viabilidade do vidro reciclado em diferentes contextos, desde sua reutilização para novas embalagens até sua incorporação em materiais de construção (SOUSA-NETO, 2014). O Quadro 4 apresenta os principais estudos encontrados na pesquisa realizada, destacando os objetivos e resultados relevantes sobre o uso do vidro reciclado na construção civil.

Quadro 4 –Resumo Reciclagem na construção civil.

(continua)

Referência	Objetivo	Principais Resultados
SOUSA-NETO (2014)	Avaliar a viabilidade técnica e a sustentabilidade do uso de resíduo de vidro moído como aditivo mineral na produção de concreto autoadensável e de alto desempenho. O estudo buscou comparar as propriedades do concreto com a adição de resíduo de vidro moído às propriedades do concreto com a tradicional sílica ativa, especialmente em relação à resistência e durabilidade do material, tanto no estado fresco quanto endurecido.	O resíduo de vidro moído pode ser utilizado com sucesso na produção de concreto autoadensável e de alto desempenho. O concreto com vidro reciclado apresentou propriedades semelhantes às do concreto com sílica ativa, como resistência à compressão e durabilidade, mas com custos de produção mais baixos. O estudo demonstrou que o vidro moído é uma alternativa viável e sustentável para a construção civil, contribuindo para a redução de resíduos e o uso de materiais reciclados.
FERREIRA et al. (2020)	Avaliar a viabilidade do uso de vidro reciclado na construção civil, especialmente em concretos e argamassas. O estudo busca verificar os benefícios ambientais e a performance técnica do material, com foco no uso sustentável e em obras de menor exigência estrutural.	A incorporação de vidro reciclado em concretos e argamassas pode melhorar a sustentabilidade da construção civil. O vidro reciclado, quando utilizado, apresenta bons resultados em termos de resistência, especialmente em obras de menor exigência estrutural. Além disso, os pesquisadores destacam que a menor densidade do vidro reciclado pode ser benéfica para aplicações como pavimentação e construção de muros. O estudo sugere que, embora o material apresente bom desempenho, deve ser utilizado em contextos onde a exigência estrutural não seja alta.

(continua)

Referência	Objetivo	Principais Resultados
SOUZA (2021)	O objetivo do estudo de Ananda Barbosa de Souza foi realizar uma revisão sistemática sobre o uso do vidro reciclado como componente em matrizes cimentícias. A pesquisa buscou avaliar a viabilidade desse material em substituição parcial ao cimento, analisando suas propriedades e a potencial contribuição para a sustentabilidade na construção civil.	O vidro reciclado pode substituir até 45% do cimento em matrizes cimentícias sem afetar significativamente as propriedades mecânicas, como resistência à compressão e tração à flexão. No entanto, substituições acima de 45% reduziram essas resistências. O uso do vidro reciclado também diminuiu a massa específica do concreto, oferecendo uma alternativa sustentável e eficiente para a construção civil, desde que utilizado nas proporções adequadas.

Fonte: Autora (2024).

Na construção civil, a reciclagem e o reuso do vidro têm se destacado como estratégias promissoras para reduzir o impacto ambiental da indústria. Estudos recentes avaliam a viabilidade da incorporação do vidro reciclado em matrizes cimentícias, demonstrando que sua utilização pode proporcionar concretos de alto desempenho, ao mesmo tempo em que contribui para a sustentabilidade (TORRES et al., 2022). Além disso, o vidro reciclado pode ajudar a reduzir o consumo de recursos naturais, como areia e cimento, e diminuir as emissões de carbono associadas à produção de materiais de construção (FERREIRA et al., 2020). No entanto, desafios logísticos e financeiros precisam ser superados para garantir a viabilidade dessa prática, como a necessidade de uma coleta seletiva eficaz e o alto custo de transporte do material reciclado (SOUZA, 2021).

Sousa-Neto (2014) investigou a utilização do vidro moído como adição mineral na produção de concreto autoadensável e de alto desempenho. Segundo o estudo, a substituição parcial do cimento por 10% de vidro moído, sob condições de cura padronizadas (temperatura de $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de 95%), proporcionou um aumento de aproximadamente 15% na resistência à compressão e melhorias na durabilidade do concreto, além de reduzir em cerca de 10% as emissões de CO_2 associadas à produção de cimento Portland. Da mesma forma, Souza (2021) realizou uma revisão sistemática sobre a utilização do vidro reciclado em matrizes cimentícias, abordando diferentes estudos que confirmam a viabilidade dessa prática, desde que sejam seguidos padrões adequados de dosagem e granulometria.

A pesquisa de Torres et al. (2022) confirma que o uso de vidro reciclado em concreto pode gerar materiais com propriedades físicas e mecânicas competitivas, atendendo aos requisitos para a construção de pavimentos e outras aplicações estruturais. Os pesquisadores observaram que, embora o vidro reciclado possa melhorar certas propriedades, como a resistência à tração e a durabilidade, é crucial controlar a granulometria do vidro para evitar problemas de aderência entre as partículas de vidro e a matriz do concreto. Além disso, a pesquisa destaca a importância do tratamento adequado do vidro reciclado, para remover impurezas como metais e plásticos, que podem comprometer a qualidade do material final.

No contexto de estudos de caso, Silva e Pereira (2020) analisaram a reciclagem e o reuso do vidro em Belo Horizonte, destacando a atuação de cooperativas e empresas na cadeia da reciclagem. A pesquisa aponta que, apesar da existência de iniciativas promissoras, desafios como a baixa adesão da população e as dificuldades logísticas ainda limitam o crescimento desse setor. A análise do ciclo de vida das embalagens de vidro também foi explorada por Aires (2021), que avaliou a reciclagem no Distrito Federal. O estudo indicou que a logística reversa e a eficiência do processo de reciclagem são fundamentais para garantir a sustentabilidade do uso do vidro. A pesquisa ressalta ainda a necessidade de incentivos fiscais e políticas públicas para impulsionar a reciclagem desse material.

Outros estudos também apontam a crescente utilização do vidro reciclado na construção civil. Ferreira et al. (2020) destacam que a incorporação de vidro reciclado em argamassas e concretos não só tem mostrado resultados promissores em termos de resistência, mas também oferece uma solução sustentável para a gestão de resíduos. Os pesquisadores recomendam o uso de vidro reciclado em obras de menor exigência estrutural, como pavimentação e construção de muros, devido à sua menor densidade e características de durabilidade.

Os estudos revisados reforçam a importância da reciclagem e do reuso do vidro na construção civil, tanto para a sustentabilidade ambiental quanto para a eficiência econômica. Futuras pesquisas devem focar em soluções inovadoras para aumentar a adesão da indústria e da sociedade à reciclagem do vidro, explorando novas formas de otimizar o processo e superar os desafios logísticos e financeiros. A aplicação do vidro reciclado no concreto, se aprimorada, pode se tornar uma alternativa valiosa e amplamente adotada na construção civil.

2.4 Conclusão

A partir da revisão sistemática conclui-se:

- A reciclagem de vidro no Brasil enfrenta dificuldades devido à infraestrutura inadequada, altos custos logísticos, falta de incentivos fiscais e barreiras culturais. Estes fatores limitam a expansão eficiente da reciclagem de vidro em todo o país.
- A implementação da PNRS, especialmente após 2011, impulsionou a pesquisa e o engajamento acadêmico no Brasil, destacando a importância da reciclagem de vidro e da logística reversa para a sustentabilidade ambiental.
- A integração entre governos, indústrias e sociedade civil é essencial para aprimorar a reciclagem de vidro, por meio da adoção de tecnologias inovadoras, como triagem automatizada, e do fortalecimento das cooperativas de catadores, garantindo uma gestão de resíduos mais eficiente.
- Programas como o Bolsa Reciclagem e o Decreto nº 11.300/2022 contribuíram para o avanço da reciclagem de vidro, embora desafios persistam, como a baixa rentabilidade do vidro reciclado e a concentração das indústrias de reciclagem em algumas regiões.
- A utilização de vidro reciclado em matrizes cimentícias tem demonstrado benefícios ambientais, como a redução do consumo de recursos naturais e das emissões de carbono. Contudo, desafios técnicos e logísticos, como o controle da granulometria e o tratamento adequado do vidro, precisam ser superados para ampliar sua aplicação na construção civil.

3- ESTUDO DE CASO: JUIZ DE FORA

3.1 Introdução

A indústria recicladora de vidro no Brasil está majoritariamente concentrada nas regiões Sudeste e Sul, que abrigam as principais fábricas e contam com uma infraestrutura mais desenvolvida para a coleta seletiva e logística reversa. Nestas regiões, várias empresas desempenham um papel estratégico no reaproveitamento de cacos de vidro, utilizando-os na produção de novas embalagens, contribuindo assim para a sustentabilidade do setor (VERALLIA, 2024).

Apesar dos desafios regionais, há um potencial significativo para a expansão e fortalecimento da reciclagem de vidro no Brasil, especialmente com o apoio de políticas públicas que incentivem investimentos em tecnologia, infraestrutura e conscientização ambiental.

A etapa do estudo objetiva realizar um estudo de caso detalhado sobre as práticas de reciclagem de vidro implementadas por uma empresa de processamento e beneficiamento de vidro, localizada em Juiz de Fora, Minas Gerais. A partir dessa abordagem, pretende-se explorar e compreender, em um contexto real, os métodos de coleta, processamento e destinação final do vidro reciclado, bem como avaliar a integração dessas práticas às diretrizes da logística reversa e à sustentabilidade ambiental e econômica no país.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Caracterização da área de estudo

Juiz de Fora é um município situado na região da Zona da Mata Mineira, com uma extensão territorial de aproximadamente 1.437,749 km². De acordo com o Censo de 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a cidade possui uma população de cerca de 540.756 habitantes, com um cenário urbano de economia diversificada e desafios de gestão pública.

No que diz respeito à gestão de resíduos sólidos, Juiz de Fora tem uma cobertura de coleta domiciliar de 100% na área urbana, beneficiando mais de 530 mil habitantes, e alcançando 99,44% da população total. Apesar dessa alta cobertura, a coleta de resíduos em áreas rurais

enfrenta desafios logísticos devido à dispersão geográfica dessas regiões (ÁGUA E SANEAMENTO, 2023).

A geração de resíduos sólidos é uma preocupação crescente. A cidade produz cerca de 530 toneladas de resíduos sólidos urbanos por dia, o que resulta em aproximadamente 190.800 toneladas ao ano. Em relação à coleta seletiva, em 2023, foram recolhidas 1.252 toneladas de materiais recicláveis, representando um aumento de cerca de 40% em comparação a 2022, quando foram coletadas 892 toneladas (TRIBUNA DE MINAS, 2024). Esse crescimento reflete as campanhas de conscientização e os esforços para aumentar a participação da população na separação de resíduos recicláveis. No entanto, o município ainda enfrenta desafios, já que apenas uma pequena fração dos resíduos gerados é efetivamente reciclada.

Além disso, Juiz de Fora dispõe de ecopontos destinados ao descarte de resíduos volumosos e recicláveis, como móveis e eletrônicos, bem como materiais da construção civil. A cidade tem investido na ampliação da infraestrutura para o descarte adequado desses materiais, com a revitalização de ecopontos existentes e a criação de novos pontos em áreas estratégicas (ÁGUA E SANEAMENTO, 2023).

Essas informações indicam que, apesar dos desafios enfrentados, Juiz de Fora tem buscado aprimorar sua gestão de resíduos sólidos, com foco na ampliação da coleta seletiva e no incentivo à reciclagem, contribuindo para a organização e a sustentabilidade da cidade.

A empresa estudada é de pequeno porte e foi fundada no final de 2020, localizada no Distrito Industrial de Juiz de Fora, Minas Gerais. A empresa atua principalmente na reciclagem de vidro, oferecendo serviços de coleta seletiva, triagem e encaminhamento do material para a fabricação de novas embalagens. Sua operação abrange a cidade de Juiz de Fora e uma ampla rede de mais de 50 cidades nos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo, totalizando cerca de 500 pontos de coleta, incluindo condomínios municipais, pontos de entrega voluntária em supermercados e vidraçarias.

3.2.2 Coleta e tratamento dos dados

Para este estudo, foram utilizados dados obtidos a partir das operações de coleta de vidro realizadas pela empresa de reciclagem em Juiz de Fora, MG, e em outras cidades onde a empresa atua. Os dados utilizados neste estudo foram extraídos dos registros internos da empresa, abrangendo aspectos essenciais do processo de coleta, triagem e destinação do vidro reciclado.

As informações analisadas incluem a massa de vidro coletado e os pontos de coleta. O período de análise foi de janeiro de 2021 a dezembro de 2023, o que proporciona uma base temporal robusta para a comparação e interpretação dos dados ao longo do tempo.

Para facilitar a análise e a compreensão, os dados foram organizados em categorias específicas. O Quadro 5 apresenta as diferentes categorias e seus respectivos detalhes.

Quadro 5 – Dados de Coleta de Vidro.

Origem do vidro	Descrição
Pontos de Entrega Geral (Juiz de Fora)	Massa de vidro coletada nos pontos de entrega voluntária espalhados pela cidade
Voluntária (PEVs)	Massa de vidro coletado pelas associações de catadores
Geral	Coleta de vidro em Juiz de Fora, incluindo tanto PEVs quanto catadores
Catadores Geral	Massa total de vidro coletado por todas as associações de catadores e as que foram destinadas as associações pela coleta seletiva da prefeitura
PEVs Geral	Massa total de vidro coletado nos PEVs em toda a cidade

Fonte: Autora (2024).

Os dados coletados foram submetidos a testes estatísticos para verificar padrões e tendências ao longo do tempo.

A análise estatística desempenhou um papel essencial na interpretação dos dados de coleta de vidro ao longo do período de estudo, abrangendo os anos de 2021 a 2023, com foco na cidade de Juiz de Fora. A etapa inicial envolveu a avaliação da normalidade dos dados, condição essencial para a escolha dos testes subsequentes apropriados.

O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para verificar a normalidade dos dados de coleta de vidro. Esse teste é amplamente empregado em estudos estatísticos devido à sua alta potência, especialmente para amostras pequenas (SHAPIRO E WILK, 1965). O teste de normalidade é fundamental para determinar se os dados seguem uma distribuição normal, o que permite a aplicação de testes paramétricos. Caso o p-valor do teste seja menor que 0,05, indica-se que os dados não seguem uma distribuição normal. No estudo em questão, os resultados indicaram que parte dos conjuntos de dados não atendia à suposição de normalidade, exigindo a aplicação de métodos alternativos, como testes não paramétricos, dependendo da natureza dos dados.

Nos casos em que os dados apresentaram distribuição normal, foram aplicados testes paramétricos para garantir comparações robustas entre grupos. O teste de ANOVA foi utilizado para comparar a massa de vidro coletada entre os anos de 2021, 2022 e 2023. A ANOVA é amplamente empregada em estudos estatísticos para identificar diferenças significativas entre três ou mais grupos independentes (McDONALD, 2014). Após a aplicação da ANOVA, utilizou-se o teste de Tukey como pós-teste, permitindo comparações múltiplas entre os valores dos grupos e identificando diferenças estatisticamente significativas entre os anos analisados, este teste é fundamental para fornecer insights detalhados sobre as comparações entre os diferentes períodos. (MINITAB, 2025).

Para os dados que não atenderam à suposição de normalidade, foram utilizados testes não paramétricos, que são mais adequados para dados que não seguem uma distribuição normal. O teste de Kruskal-Wallis foi empregado para comparar as distribuições das massas de vidro coletado entre os anos, sendo uma alternativa não paramétrica à ANOVA (HOLLANDER; WOLFE, 2013). Além disso, o teste de Mann-Whitney foi utilizado para realizar comparações pareadas entre dois grupos específicos, como catadores geral e PEVs geral, sendo uma alternativa ao teste t de Student para dados não paramétricos (WILCOX, 2017).

Os procedimentos de análise envolveram a organização dos dados em planilhas categorizadas por ano e origem do vidro, de forma a facilitar o acesso e a análise. A organização dos dados é uma etapa crucial para garantir a qualidade da análise estatística, uma vez que a categorização correta permite uma interpretação mais clara dos resultados.

Os testes estatísticos foram realizados utilizando o software STATÍSTICA, versão 12 (StatSoft, 2013), que é uma ferramenta robusta para análise de dados. O software foi fundamental para realizar análises precisas, tanto para os testes paramétricos quanto para os não

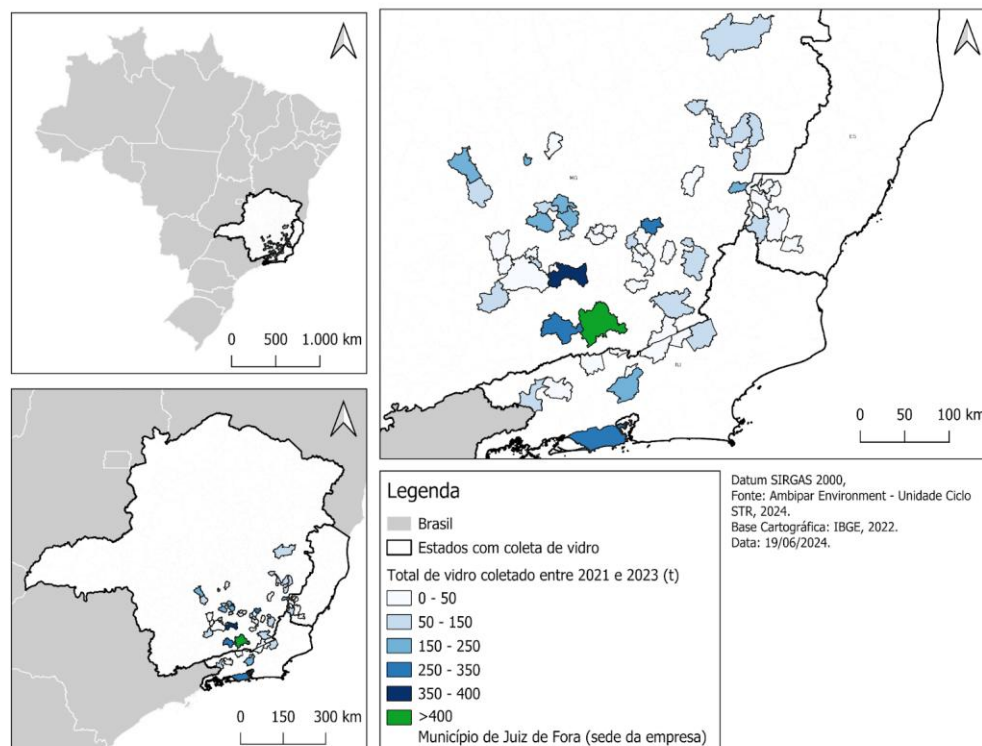
paramétricos. O uso do STATÍSTICA garante que os testes sejam conduzidos de maneira eficiente, proporcionando resultados confiáveis para a interpretação dos dados.

Após a aplicação dos testes, os resultados foram analisados para identificar padrões e tendências nos dados de coleta de vidro, além de identificar diferenças significativas entre os grupos. A interpretação dos resultados foi crucial para entender como as massas de vidro coletadas variaram ao longo do tempo.

3.3 Resultados e Discussão

O mapa da área de atuação da empresa - Figura 3, revela que a maior massa de vidro coletada está concentrada nas regiões mais próximas à sede. Essa concentração ocorre devido à facilidade logística, menores custos operacionais e tempos de deslocamento reduzidos. A proximidade geográfica torna o processo de coleta e transporte mais eficiente e econômico.

Figura 3 – Mapa da área de atuação da empresa de acordo com a quantidade de vidro coletada.



Fonte: Autora (2024).

As cidades em que a empresa atua estão listadas no Quadro 6.

Quadro 6 – Resumo Reciclagem de vidro

Minas Gerais	Rio de Janeiro	Espírito Santo
ABRE CAMPO ALÉM PARAÍBA BARBACENA BARROSO BELO HORIZONTE CARATINGA CARRANCAS CLÁUDIO CONCEIÇÃO DA BARRA DE MINAS CONGONHAS CONSELHEIRO LAFAIETE CORONEL XAVIER CHAVES CRISTIANO OTONI DIVINÉSIA DIVINOPOLIS DORES DO RIO PRETO ENTRE RIOS DE MINAS GOVERNADOR VALADARES GUARANI GUIRICEMA IPANEMA JECEABA LAMIM LEOPOLDINA LIMA DUARTE MANHUMIRIM MURIAÉ PAULA CÂNDIDO RIO ESPERA SANTANA DO MANHUAÇU SÃO JOÃO DEL REI SÃO JOAQUIM DE BICAS SÃO TIAGO SENADOR FIRMINO SENHORA DE OLIVEIRA TIRADENTES UBÁ VIÇOSA	AREAL BARRA DO PIRAÍ BARRA MANSA CANTAGALO PETRÓPOLIS RIO DE JANEIRO	ALEGRE GUAÇUÍ IBITIRAMA IRUPI IÚNA MUQUI

Fonte: Autora (2024).

Entretanto, ao tentar expandir suas operações para cidades mais distantes, a empresa se deparou com desafios substanciais. As tentativas de coletar vidro em áreas mais afastadas resultaram em custos elevados com combustível, manutenção de veículos e contratação de mão de obra adicional. Além disso, a complexidade da logística reversa e a necessidade de transporte adequado para evitar perdas por quebra tornaram as operações nessas localidades menos vantajosas financeiramente.

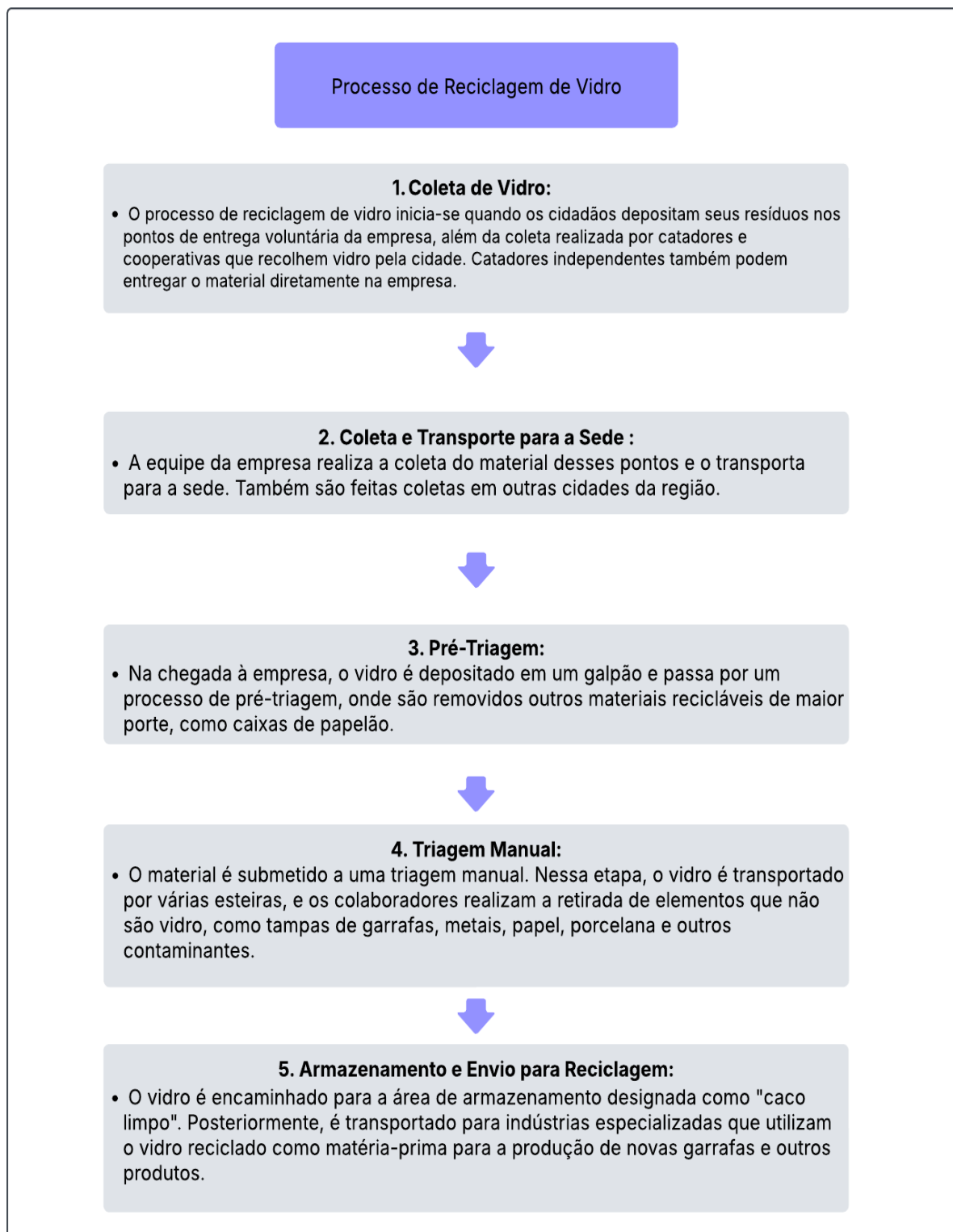
Por conta disso, a coleta de vidro em regiões mais distantes tornou-se inviável, especialmente devido à baixa relação custo-benefício. A estratégia mais eficiente para a empresa, portanto, é concentrar suas operações nas áreas mais próximas a empresa, onde a logística é otimizada e o custo por tonelada coletada se torna mais viável.

Após o processamento do vidro, o material é encaminhado para uma empresa localizada na cidade do Rio de Janeiro que é responsável pela reciclagem do vidro, transformando-o em novos produtos, como garrafas e frascos. Essa parceria é essencial para garantir que o vidro reciclado seja corretamente reaproveitado, contribuindo para a economia circular e para a sustentabilidade ambiental.

Para viabilizar uma possível expansão futura, a empresa poderia considerar a implantação de pontos intermediários de coleta ou parcerias com empresas locais. Essas iniciativas ajudariam a reduzir os desafios financeiros e operacionais, tornando a expansão mais rentável e sustentável, além de ampliar a capacidade de coleta sem comprometer a qualidade e a eficiência do processo.

Apresenta-se um fluxograma que ilustra o processo do caminho percorrido pelo vidro na empresa, desde a coleta até a destinação final. O fluxo das operações está organizado conforme as etapas descritas na Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma de operação da empresa.



Fonte: Autora (2025).

A fim de ilustrar o processo de reciclagem de vidro adotado pela empresa, a Figura 5 apresenta imagens reais das etapas descritas no fluxograma acima.

Figura 5 – Processo de reciclagem do vidro.

(a) Pontos de Entrega Voluntária
(PEVs)



(b) Coleta do material.



(c) Material sendo descarregado no
pátio.



(d) Pré-Triagem.



(e) Esteira de triagem manual.



(f) Triagem manual.



(g) Baías de armazenamento do material pronto.



(h) Carregamento do material.



Fonte: Autora (2024).

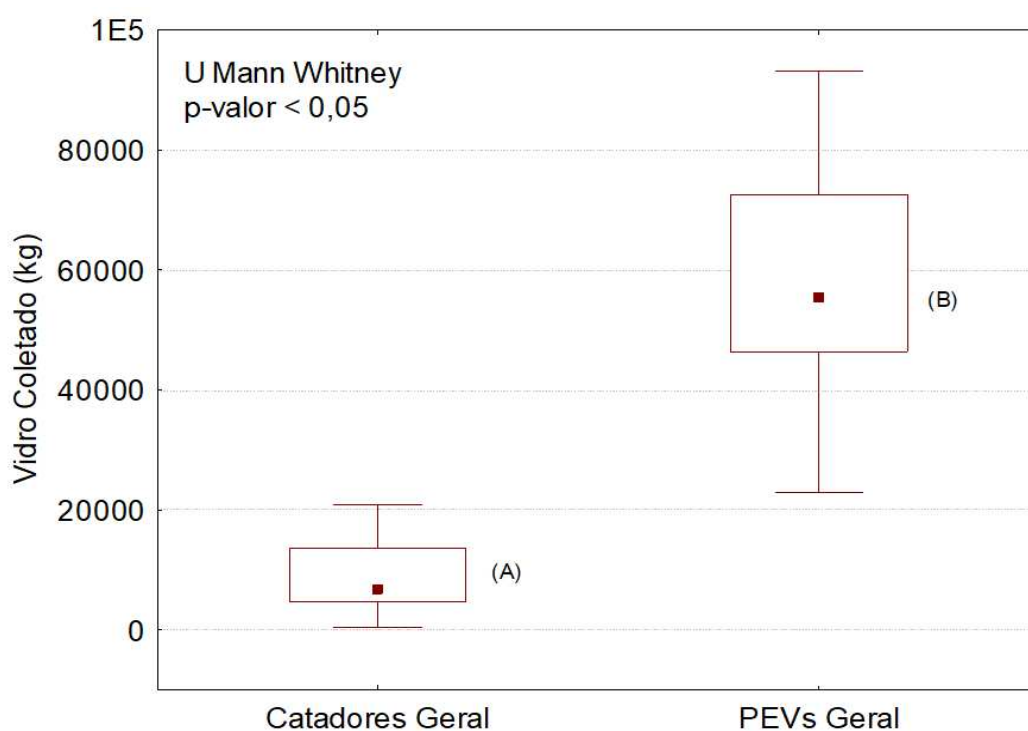
Esse processo de reciclagem contribui para a redução do consumo de matéria-prima virgem e para a promoção da sustentabilidade ambiental, incentivando a economia circular e reduzindo o impacto ambiental do descarte inadequado de vidro.

3.3.1 Coleta do vidro: Origem

O teste de Mann-Whitney realizado com os dados fornecidos pela empresa de reciclagem de vidro revelou uma diferença estatisticamente significativa entre a quantidade de vidro coletada pelos Pontos de Entrega Voluntária (PEV) e pelas Associações de Catadores. Os resultados indicam que as quantidades recolhidas por meio de PEVs são significativamente

superiores às recolhidas por associações de catadores. Esta disparidade pode ser explicada pela maior infraestrutura e visibilidade dos PEVs, que facilitam o acesso da população ao descarte adequado de materiais recicláveis. Em comparação, as Associações de Catadores, por terem recursos limitados, enfrentam restrições que limitam sua capacidade de coleta. É possível verificar o resultado do teste na Figura 6.

Figura 6 – Comparação entre a quantidade de vidro coletada de 2021 a 2023 pelos Pontos de Entrega Voluntária (PEV) e pelas Associações de Catadores.



Fonte: Autora (2024).

Os PEVs, estrategicamente localizados em pontos de fácil acesso como supermercados e condomínios da cidade, oferecem à população locais convenientes para o descarte de materiais recicláveis, como o vidro. A visibilidade e a acessibilidade desses pontos incentivam os cidadãos a participarem ativamente do processo de reciclagem, o que resulta em um aumento significativo na quantidade de materiais coletados. A organização e a facilidade de uso desses pontos ajudam a solidificar a participação da comunidade em práticas sustentáveis e em conformidade com os objetivos de políticas públicas de gestão de resíduos.

Simultaneamente, as Associações de Catadores desempenham um papel essencial na coleta e triagem de materiais recicláveis. No entanto, essas associações enfrentam desafios significativos que limitam sua capacidade de expandir suas operações. A falta de infraestrutura

adequada, a escassez de recursos financeiros e a necessidade de maior reconhecimento institucional são obstáculos recorrentes (SILVA E PEREIRA, 2020).

Esses resultados reforçam a literatura sobre a maior eficácia de sistemas de coleta estruturados, como os PEVs, em comparação com os modelos das associações de catadores. A Política Nacional de Resíduos Sólidos, estabelecida pela Lei nº 12.305/2010, reconhece o papel crucial dos catadores na gestão de resíduos, mas também destaca a necessidade de sua inclusão em sistemas formais de coleta para melhorar a eficiência e a sustentabilidade da reciclagem no Brasil (BRASIL, 2010). O estado de Minas Gerais, por exemplo, implementou o Programa Bolsa Reciclagem, que visa apoiar cooperativas de catadores, fornecendo incentivos financeiros e melhorando as condições de trabalho dos catadores, o que contribui para a melhoria da coleta seletiva e a inclusão social (STURZENEGGER, 2013).

Além disso, estudos de caso, como o realizado em Belo Horizonte, demonstraram que a integração de catadores em sistemas formais de coleta seletiva, com o suporte de programas como os PEVs, pode melhorar significativamente a adesão da população e a qualidade dos materiais recicláveis coletados (CAMPOS, 2020). A colaboração entre catadores e sistemas estruturados de coleta não só otimiza o processo de reciclagem, como também fortalece o desenvolvimento social e econômico dos catadores, promovendo a inclusão e a valorização desse segmento da sociedade.

No entanto, um aspecto importante a ser considerado na análise é a questão da segurança no descarte do vidro, especialmente devido à periculosidade desse material. Por ser cortante e potencialmente perigoso, o vidro pode gerar receio na população, que teme que seu descarte inadequado cause acidentes, especialmente para aqueles que realizam a coleta seletiva. Esse fator de risco pode levar os cidadãos a evitarem depositar vidro diretamente na coleta seletiva convencional, optando pelos PEVs, que são percebidos como pontos mais seguros, tanto pela acessibilidade quanto pela estrutura adequada para conter o material e minimizar riscos. Esse receio histórico, aliado à ausência de uma cultura consolidada de separação do vidro para a coleta seletiva, pode explicar a maior adesão aos PEVs em comparação com outras formas de coleta, como a realizada pelas associações de catadores.

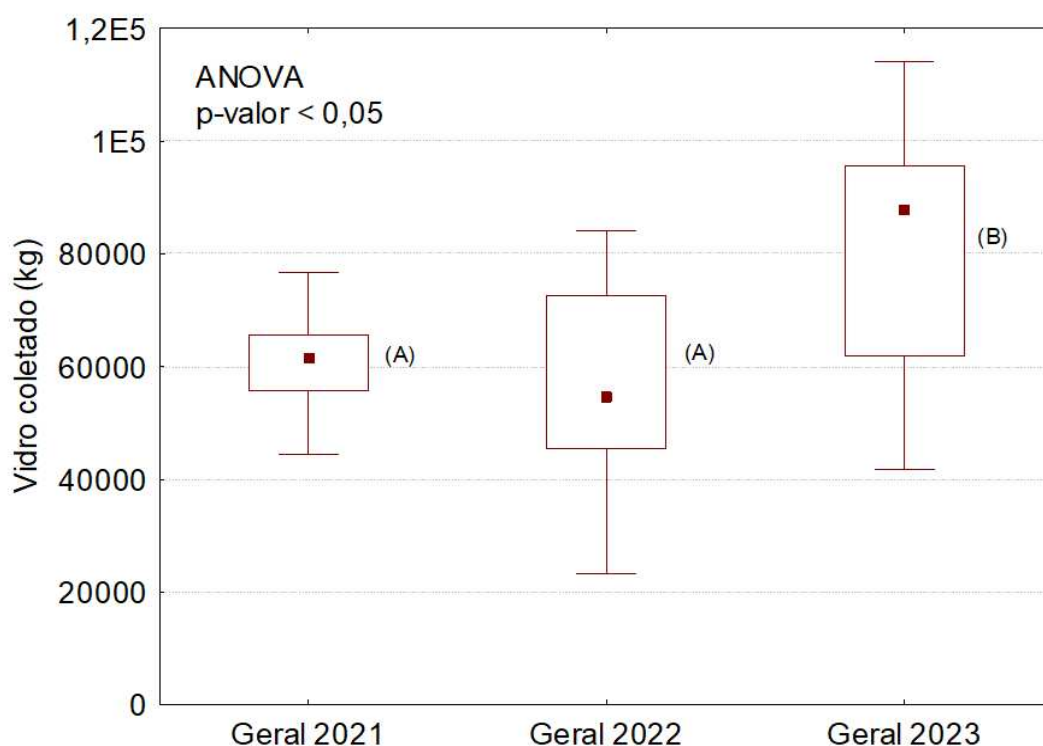
Portanto, para aprimorar ainda mais a eficiência do sistema de reciclagem em Juiz de Fora, é essencial promover a integração entre os PEVs e as Associações de Catadores. Essa colaboração pode potencializar a coleta seletiva, garantindo não apenas a sustentabilidade

ambiental, mas também o desenvolvimento socioeconômico dos catadores, que desempenham um papel vital na gestão dos resíduos sólidos urbanos.

3.3.2 Análise Temporal

A quantidade total de vidro coletada pela empresa em Juiz de Fora, MG, nos anos de 2021, 2022 e 2023 foi analisada por meio do teste ANOVA, que revelou uma diferença estatisticamente significativa entre os anos ($p < 0,05$). O pós-teste de Tukey indicou que essa diferença ocorreu entre 2022 e 2023, evidenciando um aumento expressivo na coleta em 2023. No entanto, não foram encontradas variações significativas entre 2021 e 2022, e entre 2021 e 2023, sugerindo estabilidade nesses períodos. Assim, os resultados indicam que a quantidade de vidro coletada em 2023 foi significativamente maior do que nos anos anteriores. A análise completa pode ser visualizada na Figura 7.

Figura 7 – Pós teste de Tukey para comparação da quantidade total de vidro coletado entre 2021 e 2023.



Fonte: Autora (2024).

Esse crescimento em 2023 pode ser atribuído a diversos fatores. A melhoria na infraestrutura de coleta, incluindo a ampliação da cobertura dos Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) e a maior acessibilidade aos pontos de descarte, pode ter contribuído para o aumento do

volume de material reciclado. Além disso, a intensificação das campanhas educativas, aliada à maior conscientização ambiental, tende a incentivar a adesão da população à reciclagem. Estudos apontam que a conscientização ambiental é fundamental para a promoção de práticas sustentáveis, como a reciclagem (ISBET, 2024).

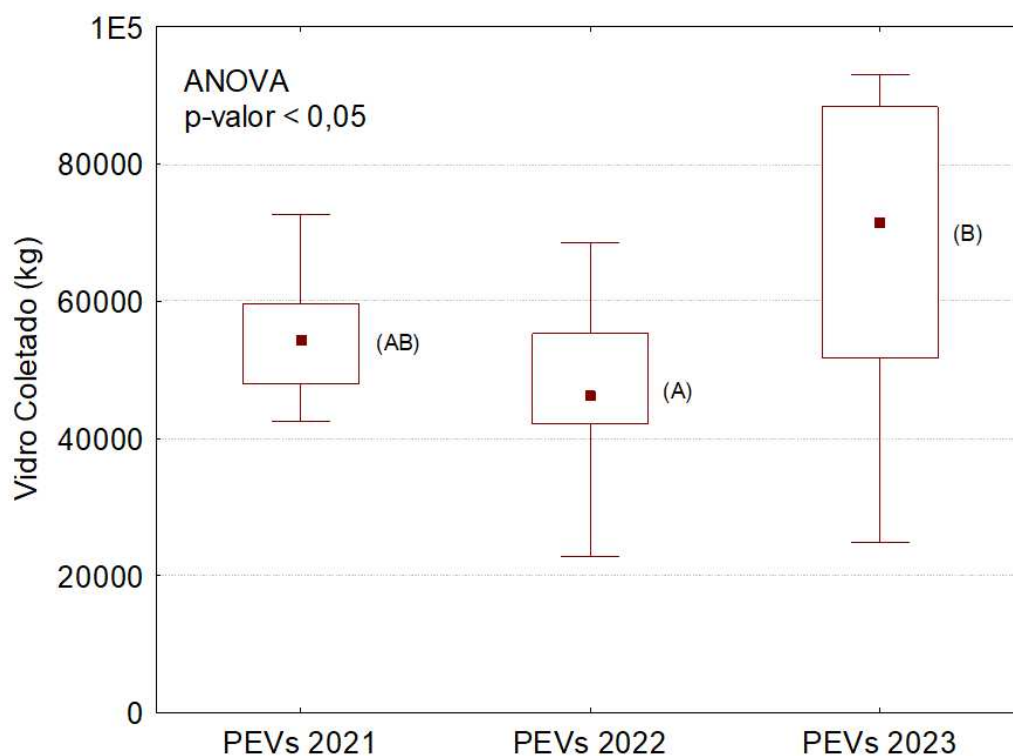
Outro fator que pode ter influenciado o aumento da coleta é a implementação de políticas públicas voltadas para a reciclagem e a economia circular. O Governo Federal, por meio do Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022, aperfeiçoou a regulamentação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e criou o Programa Nacional de Logística Reversa, visando fortalecer a coleta seletiva em todo o país (BRASIL, 2022).

A diferença significativa observada entre os volumes de 2022 e 2023 sugere uma melhoria no engajamento da população e na adaptação dos programas de coleta. Esse aumento pode refletir o impacto positivo das ações voltadas para a melhoria da infraestrutura de coleta, bem como a crescente conscientização da sociedade sobre a importância da reciclagem.

Além da análise do volume total de vidro coletado, foi realizada uma segunda ANOVA para investigar possíveis diferenças significativas nos volumes coletados especificamente pelos PEVs nos anos de 2021, 2022 e 2023. Os resultados indicaram a existência de uma diferença estatisticamente significativa entre os anos ($p < 0,05$), sugerindo que as médias anuais de massa coletada não são iguais.

A análise dos dados da empresa sobre a quantidade de vidro coletada nos pontos de entrega voluntária em Juiz de Fora (MG) entre 2021 e 2023 revelou mudanças significativas ao longo do período. O pós-teste de Tukey indicou estabilidade na coleta entre 2021 e 2022, o que pode estar associado à manutenção das condições operacionais, políticas públicas e ao nível de conscientização ambiental da população. Segundo Silva e Andrade (2020), a regularidade na coleta de materiais recicláveis tende a refletir uma infraestrutura consolidada e a adesão contínua a práticas de descarte seletivo. Para identificar entre quais anos essa diferença ocorre, foi aplicado o pós-teste de Tukey, cujos resultados podem ser observados no gráfico – Figura 8.

Figura 8 – Pós teste de Tukey para análise dos pontos de entrega voluntária.



Fonte: Autora (2024).

Por outro lado, a comparação entre 2021 e 2023 revelou um aumento significativo na massa coletada, reforçado pela diferença também observada entre 2022 e 2023. Esse crescimento pode ser atribuído à ampliação da rede de coleta, maior participação da população e otimizações operacionais, como melhoria nas rotas e campanhas de incentivo à reciclagem. Chaves, Siman e Chang (2021) apontam que o fortalecimento da coleta seletiva está diretamente ligado a investimentos em infraestrutura, ações educativas e parcerias estratégicas.

A valorização da economia circular e o aumento da preocupação com práticas sustentáveis também podem ter impulsionado esse avanço. Oliveira e Santos (2022) destacam que políticas de incentivo à reciclagem, aliadas à conscientização ambiental, impactam positivamente a quantidade de resíduos recicláveis coletados.

Além disso, a implementação de novos pontos de entrega voluntária e aprimoramentos na logística de transporte podem ter contribuído para a expansão da coleta. Segundo Ribeiro et al. (2021), a eficiência da logística reversa é fundamental para direcionar um maior volume de materiais à reciclagem.

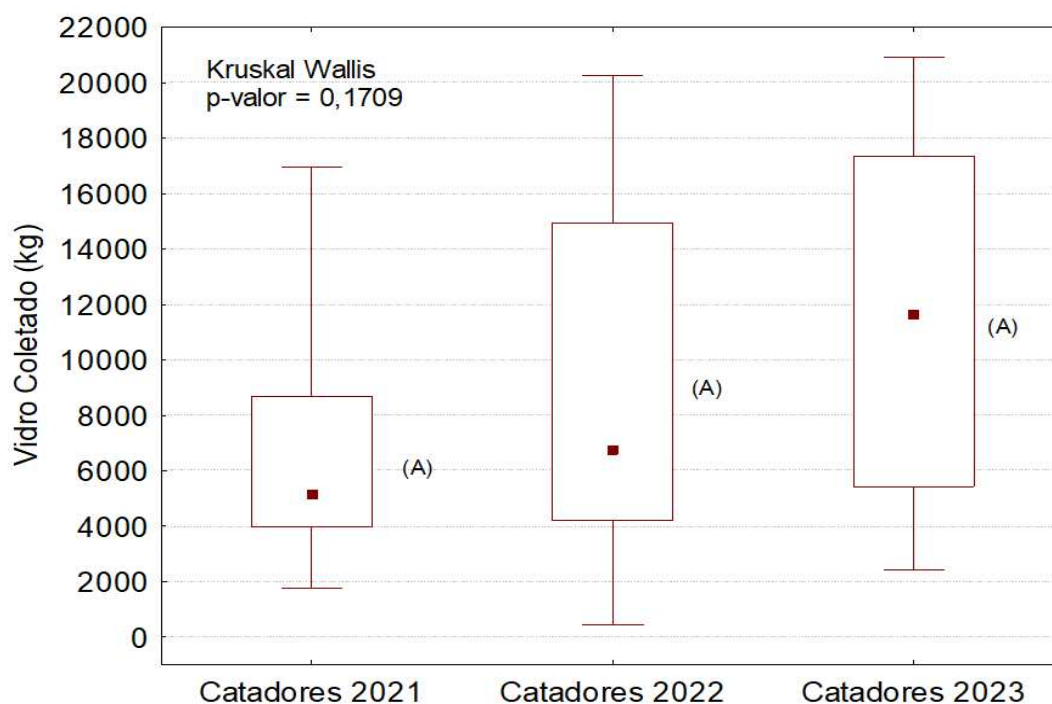
Outro fator relevante para o aumento da coleta em 2023 foi apontado pelo diretor da empresa Flávio Semedo, que destacou a influência de um vídeo divulgado nas redes sociais, produzido pela influenciadora Isabela Gouveia, sobre os PEVs localizados em supermercados. Esse vídeo, publicado no Instagram em 25 de junho de 2023, viralizou rapidamente, alcançando um grande público e promovendo uma conscientização ampliada sobre a existência e a importância desses pontos de coleta. A divulgação maciça pode ter incentivado um maior número de pessoas a utilizá-los, contribuindo diretamente para o crescimento da quantidade de vidro reciclado no ano. Esse fenômeno reforça a importância das estratégias de comunicação e educação ambiental para estimular a participação popular na reciclagem, conforme apontado por pesquisas que analisam o impacto das mídias sociais na mudança de comportamento ambiental (SILVA, 2021).

Dessa forma, a estabilidade entre 2021 e 2022 sugere um cenário consolidado, enquanto o crescimento registrado em 2023 indica avanços estruturais e comportamentais que fortalecem a reciclagem.

Dando continuidade às análises, também foi realizado o teste de Kruskal-Wallis para avaliar se houve diferenças significativas na quantidade de vidro coletado pelas Associações de Catadores nos anos de 2021, 2022 e 2023. Os resultados não indicaram diferenças estatisticamente significativas entre os anos, evidenciando que as quantidades coletadas permaneceram estáveis ao longo do período. Esse resultado sugere que, independentemente das variações observadas nas coletas totais ou nos PEVs, o desempenho das Associações de Catadores manteve-se relativamente constante em termos de massa de vidro coletada.

Este resultado pode ser explicado pela falta de mudanças substanciais nas condições operacionais das Associações de Catadores. As limitações enfrentadas por esses grupos, como a escassez de recursos financeiros, infraestrutura inadequada e a informalidade das operações, podem ter impedido avanços significativos na quantidade de vidro coletado ao longo dos anos. Isso é corroborado por Galdino et al. (2024), que ressaltam a necessidade de apoio institucional e de parcerias estratégicas para que as Associações possam expandir suas atividades de forma mais eficaz. A visualização dos resultados desse teste pode ser observada na Figura 9.

Figura 9 – Teste de Kruskal-Wallis para comparação das coletas realizadas pelas Associações de Catadores nos anos de 2021, 2022 e 2023.



Fonte: Autora (2024).

A estabilidade observada nas coletas pode apontar para um engajamento limitado da população com a coleta realizada pelas Associações de Catadores. É possível que as pessoas não percebam essas entidades como opções viáveis ou não tenham informações suficientes sobre como colaborar. Estudos como o de Richer (2014) destacam que as campanhas educativas e a conscientização são essenciais para engajar a população nas práticas de reciclagem.

3.3.3 Desafios e perspectivas futuras

A análise dos dados revelou variações significativas na coleta de vidro ao longo dos anos, com um aumento expressivo em 2023. No entanto, os resultados também indicaram estabilidade nas coletas realizadas pelas Associações de Catadores, sugerindo que o crescimento registrado pode estar mais relacionado a outras frentes, como os Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) ou mudanças na logística da empresa. Diante desse cenário, alguns desafios e perspectivas futuras podem ser destacados.

Entre os principais desafios, destaca-se a necessidade de maior engajamento da população, uma vez que o crescimento da coleta depende diretamente da conscientização e participação ativa dos cidadãos no descarte correto do vidro. Campanhas educativas e incentivos

financeiros, como subsídios ou recompensas para cidadãos e empresas que participam ativamente do programa, podem ser estratégias eficazes para aumentar a adesão. Além disso, incentivos sociais e comunitários, como reconhecimento público e benefícios sociais para as cooperativas de catadores, podem contribuir para o fortalecimento da participação da comunidade. Questões relacionadas à infraestrutura e logística também representam um obstáculo, pois a ampliação e manutenção dos PEVs demandam investimentos para garantir sua eficiência e acessibilidade. Da mesma forma, otimizar a coleta e o transporte do material pode contribuir para a redução de custos e o aumento da eficácia do processo.

Outro aspecto relevante refere-se ao papel das Associações de Catadores, que não apresentaram crescimento na coleta durante o período analisado. Estratégias voltadas ao fortalecimento dessas associações podem ser essenciais para aumentar sua participação na reciclagem de vidro. Segundo o relatório do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a inclusão dos catadores nas políticas públicas de gestão de resíduos é um passo importante para a melhoria da coleta e da reciclagem, além de contribuir para a melhoria da qualidade de vida dos trabalhadores da reciclagem (IBGE, 2021). Por fim, oscilações na demanda do mercado por vidro reciclado também devem ser consideradas, uma vez que a viabilidade econômica da reciclagem está diretamente ligada à capacidade de absorção desse material pela indústria.

Diante desses desafios, algumas perspectivas futuras podem contribuir para o aprimoramento do sistema de coleta de vidro. A expansão dos pontos de coleta, com a ampliação do número de PEVs e a melhoria de sua distribuição geográfica, pode facilitar o acesso da população e aumentar os índices de reciclagem. Além disso, parcerias público-privadas podem viabilizar investimentos em infraestrutura e logística, promovendo maior eficiência no processo. O uso de tecnologia e inovação na separação e processamento do vidro também se apresenta como uma alternativa para otimizar o sistema e torná-lo mais sustentável. Por fim, políticas de incentivo, como benefícios fiscais ou programas de remuneração para a coleta e reciclagem, podem impulsionar a participação tanto da sociedade quanto das Associações de Catadores, fortalecendo a cadeia de reciclagem.

Dessa forma, ao superar esses desafios e implementar estratégias voltadas à melhoria do sistema, a coleta de vidro em Juiz de Fora pode se tornar mais eficiente e sustentável, contribuindo para o fortalecimento da economia circular e para a preservação ambiental.

3.4 Conclusão

A partir da etapa de estudo de caso, conclui-se:

- Houve um aumento significativo na quantidade de vidro coletado em 2023, impulsionado pela ampliação dos Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) e campanhas educativas.
- Os PEVs demonstraram maior eficiência na coleta devido à sua infraestrutura e localização estratégica, enquanto as Associações de Catadores enfrentam dificuldades operacionais e financeiras.
- A coleta de vidro em regiões distantes é inviável financeiramente devido aos altos custos de transporte e manutenção, limitando a atuação da empresa às áreas próximas à sua sede.
- A disseminação de informações, especialmente por meio das redes sociais, contribuiu para o aumento da adesão da população aos PEVs, demonstrando o impacto positivo das campanhas educativas.
- Apesar de seu papel fundamental na reciclagem, as Associações de Catadores não apresentaram crescimento na coleta, evidenciando a necessidade de maior apoio institucional e investimento em infraestrutura.
- A criação de pontos intermediários de coleta e parcerias com empresas locais podem tornar a reciclagem de vidro mais eficiente e acessível em regiões mais distantes.
- A otimização do sistema de reciclagem em Juiz de Fora depende de um planejamento integrado entre governo, empresas, cooperativas e a população, garantindo eficiência, inclusão social e benefícios ambientais.

4- CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reciclagem de vidro no Brasil é uma prática essencial para a construção de um modelo de economia circular sustentável, com benefícios ambientais e econômicos significativos. Embora o vidro seja um material altamente reciclável e tenha um ciclo de vida praticamente infinito sem perda de qualidade, a sua reciclagem no Brasil enfrenta desafios consideráveis. A logística reversa ineficiente e a baixa adesão da população são os principais obstáculos a serem superados.

Neste contexto, a revisão sistemática realizada no presente trabalho forneceu uma visão abrangente e crítica da literatura científica sobre a reciclagem de vidro no Brasil. Foi possível identificar que, apesar de avanços significativos, como a criação de metas nacionais para a reciclagem e o fortalecimento da logística reversa, ainda existem lacunas importantes que precisam ser preenchidas para garantir uma reciclagem mais eficiente e em larga escala. Um dos principais achados da revisão foi a constatação de que, embora haja crescente interesse e esforços por parte de empresas, governos e a sociedade civil, as barreiras estruturais, como a infraestrutura deficiente e os altos custos logísticos, ainda representam obstáculos significativos para a expansão da reciclagem de vidro.

O uso de vidro reciclado na construção civil, identificado também na revisão sistemática como uma tendência crescente, é outra estratégia que se destaca no Brasil. A incorporação do vidro reciclado em matrizes cimentícias pode melhorar o desempenho mecânico do concreto, reduzir a extração de recursos naturais e minimizar as emissões de gases de efeito estufa. Embora essa aplicação tenha grande potencial, a revisão apontou a necessidade de um controle rigoroso da granulometria e do tratamento adequado do material, o que ainda é um desafio a ser superado para garantir a qualidade e durabilidade dos produtos finais.

A revisão também revelou que a implementação de políticas públicas, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e o Programa Nacional de Logística Reversa, tem contribuído positivamente para o aumento da taxa de reciclagem de vidro. No entanto, a taxa de reciclagem ainda é baixa, com cerca de 75% do vidro produzido no Brasil não sendo reciclado, o que enfatiza a necessidade de fortalecer essas políticas, ampliar a conscientização social e investir em soluções logísticas inovadoras. A pandemia de Covid-19, por exemplo, expôs ainda

mais as fragilidades da cadeia de reciclagem e a necessidade de políticas públicas mais robustas para otimizar a coleta seletiva e fortalecer a infraestrutura de reciclagem.

A pesquisa realizada com a empresa de processamento e beneficiamento do vidro ilustra claramente as dificuldades encontradas na coleta de vidro, especialmente em regiões mais distantes da sede da empresa. Os custos elevados com transporte e manutenção de veículos, bem como a necessidade de evitar perdas por quebra durante o transporte, são desafios significativos para a expansão da reciclagem de vidro. No entanto, a integração dos Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) tem se mostrado mais eficaz que as Associações de Catadores, devido à sua infraestrutura superior e maior visibilidade, destacando a importância de fortalecer a colaboração entre esses dois sistemas para otimizar a logística reversa.

A análise dos dados operacionais da empresa revelou que, entre 2022 e 2023, as campanhas educativas e as melhorias nas condições operacionais, como a ampliação da infraestrutura de coleta, resultaram em um aumento significativo na quantidade de vidro coletado nos PEVs. No entanto, a taxa de reciclagem de vidro no Brasil ainda é insuficiente, com cerca de 75% da produção de vidro não sendo reciclada, o que evidencia a urgência de fortalecer as políticas públicas, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e o Programa Nacional de Logística Reversa, que incentivam a participação ativa da sociedade e a ampliação das iniciativas de reciclagem. A implementação de novas regulamentações, como o Decreto nº 10.936/2022, oferece incentivos econômicos para a reciclagem, permitindo a melhoria da viabilidade econômica e a expansão das operações de coleta de vidro.

Além disso, o papel das cooperativas de catadores, embora essencial, enfrenta dificuldades estruturais que limitam sua capacidade de expandir e melhorar a eficiência na coleta de vidro. A integração dessas cooperativas aos sistemas de coleta mais estruturados, como os PEVs, pode ser uma solução estratégica para superar esses desafios e promover a inclusão social no processo de reciclagem. O uso de tecnologias avançadas de triagem automatizada e a ampliação do uso de soluções inovadoras também são cruciais para aumentar a eficiência da reciclagem de vidro no Brasil.

Por fim, a mobilização e conscientização ambiental têm mostrado ser fatores determinantes para o sucesso da reciclagem. O aumento da participação social, aliado ao fortalecimento das infraestruturas de coleta e ao apoio às cooperativas de catadores, pode impulsionar a construção de uma economia circular mais inclusiva e eficiente. A crescente

valorização do vidro reciclado, especialmente no mercado e no setor da construção civil, abre novas perspectivas para o futuro da reciclagem no Brasil, trazendo benefícios ambientais e econômicos duradouros.

Em suma, para que a logística reversa do vidro no Brasil se torne mais eficiente e sustentável, é necessário o fortalecimento contínuo das políticas públicas, o incentivo à participação social, a melhoria das infraestruturas de coleta e a implementação de soluções logísticas inovadoras. O Brasil tem o potencial de se tornar um exemplo global de economia circular no setor da reciclagem de vidro, contribuindo significativamente para a sustentabilidade ambiental e o desenvolvimento econômico.

Com as estratégias corretas, incluindo parcerias mais fortes entre empresas de reciclagem, cooperativas de catadores e governos, o Brasil tem o potencial de expandir suas taxas de reciclagem e contribuir significativamente para a sustentabilidade global. Dessa forma, a reciclagem de vidro pode se tornar um pilar fundamental para o desenvolvimento de um modelo econômico circular, sustentável e capaz de atender às exigências ambientais do futuro.

5- REFERÊNCIAS

- ABRAVIDRO – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE VIDROS. **Meta de reciclagem de vidro em 2024 é alcançada no Brasil**. 2025. Disponível em: https://abravidro.org.br/en/punoticias/meta-de-reciclagem-de-vidro-em-2024-e-alcancada-no-brasil/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 18 mar. 2025.
- ABREMA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Setor de vidro alcança meta de reciclagem em 2024**. 2025. Disponível em: https://www.abrema.org.br/2025/02/24/setor-de-vidro-alcanca-meta-de-reciclagem-em-2024/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 18 mar. 2025.
- ABREMA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2024**. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama/>. Acesso em: 25 fev. 2025.
- ÁGUA E SANEAMENTO. **O saneamento em Juiz de Fora | MG | Municípios e Saneamento**. 2023. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/mg/juiz-de-fora>. Acesso em: 12 fev. 2025.
- AIRES, Paulo Lacroix. **Ciclo de vida das embalagens de vidro e avaliação do processo de reciclagem no Distrito Federal**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade de Brasília, Brasília, 2021. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/32450/1/2021_PauloLacroixAires_tcc.pdf. Acesso em: 9 fev. 2025.
- AMBIPAR. Ambipar vai investir pesado em reciclagem de vidro. **Ambipar**, 27 nov. 2023. Disponível em: <https://ambipar.com/noticias/ambipar-vai-investir-pesado-em-reciclagem-de-vidro/>. Acesso em: 25 jan. 2025.
- ARAÚJO, Cristiano Cassiano de; CASTRO, Raphael Silva de Magalhães. Desafios e possibilidades do retorno ambiental das embalagens de PET e vidro por meio da logística reversa em Salvador (BA). **Geopauta**, v. 2, n. 1, 2018. Disponível em: <https://periodicos2.uesb.br/index.php/geo/article/view/3349>. Acesso em: 9 fev. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE VIDRO (ABIVIDRO). Fatos e estatísticas sobre a reciclagem de vidro. **Recicla Sampa**, 2022. Disponível em: <https://www.reciclasampa.com.br/artigo/fatos-e-estatisticas-sobre-a-reciclagem-de-vidro>. Acesso em: 11 jun. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE VIDRO (ABIVIDRO). Sustentabilidade: 100% reciclável, 100% reutilizável. [S.l.], 2021. Disponível em: <https://abividro.org.br/sustentabilidade/>. Acesso em: 12 jun. 2024.
- BRASIL. Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 12 jan. 2022a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/D10936.htm. Acesso em: 26 maio 2024.
- BRASIL. Decreto nº 11.043, de 13 de abril de 2022. Institui o Plano Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 13 abr. 2022c. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/decreto-n-11.043-de-13-de-abril-de-2022-389579548>. Acesso em: 26 maio 2024.

BRASIL. Decreto nº 11.044, de 13 de abril de 2022. Institui o sistema de crédito de reciclagem, denominado Recicla+. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 abr. 2022b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/D11044.htm. Acesso em: 26 maio 2024.

BRASIL. Decreto nº 11.300, de 21 de dezembro de 2022. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 22 dez. 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d11300.htm. Acesso em: 26 maio 2024.

BRASIL. Decreto nº 11.413, de 13 de fevereiro de 2023. Institui o Certificado de Crédito de Reciclagem de Logística Reversa, o Certificado de Estruturação e Reciclagem de Embalagens em Geral e o Certificado de Crédito de Massa Futura, no âmbito dos sistemas de logística reversa previstos no art. 33 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 fev. 2023a. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2023/decreto-11413-13-fevereiro-2023-793768-publicacaooriginal-167057-pe.html>. Acesso em: 18 mar. 2025.

BRASIL. Decreto nº 11.706, de 18 de setembro de 2023. Altera o Decreto nº 11.414, de 13 de fevereiro de 2023, que institui o Programa Diogo de Sant'Ana Pró-Catadoras e Pró-Catadores para a Reciclagem Popular e o Comitê Interministerial para Inclusão Socioeconômica de Catadoras e Catadores de Materiais Reutilizáveis e Recicláveis. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 set. 2023b. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2023/decreto-11706-18-setembro-2023-794717-publicacaooriginal-169319-pe.html>. Acesso em: 18 mar. 2025.

BRASIL. Decreto nº 11.706, de 31 de maio de 2023. Atualiza e consolida normas sobre resíduos sólidos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 31 maio 2023c. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-11.706-de-31-de-maio-de-2023-474414299>. Acesso em: 26 maio 2024.

BRASIL. Decreto nº 12.106, de 10 de julho de 2024. Regulamenta os incentivos fiscais da Lei de Incentivo à Reciclagem. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2024a. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 25 fev. 2025.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 15 abr. 2024.

BRASIL. Portaria GM/MMA nº 1.250, de 5 de agosto de 2024. Define procedimentos para projetos de reciclagem e institui a CNIR. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2024b. Disponível em: <https://www.gov.br/mma>. Acesso em: 25 fev. 2025.

CAMPOS, L. S. **Inclusão ampliada de catadores como estratégia para a integração do sistema municipal de gestão de resíduos sólidos**. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/38749>. Acesso em: 6 mar. 2025.

CHAVES, G. L. D.; SIMAN, R. R.; CHANG, N. Bin. Avaliação do efeito do fortalecimento da coleta seletiva nos custos de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. **URBE – Revista Brasileira de Gestão Urbana**, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 115–130, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/urbe/a/zssQX57CXWG7C7fKRzvk7pN/>. Acesso em: 27 fev. 2025.

CROCE, Fernão Fleury. **Análise da viabilidade financeira da logística reversa do vidro no Brasil: uma modelagem de rede de logística**. 2023. Dissertação (Mestrado em Gestão para a Competitividade) – Fundação Getúlio Vargas, Escola de Administração de Empresas de São Paulo, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/server/api/core/bitstreams/2a0fd24a-1d16-4dd6-801b-f33b547fcd9/content>. Acesso em: 9 fev. 2025.

DA SILVA, Ana Carolina A. Borges; GENNARI, Adilson Marques. Destruição ambiental e desigualdade social: dois lados do mesmo processo de desenvolvimento capitalista. **Revista Fim do Mundo**, Marília, SP, v. 1, n. 02, p. 19–40, 2020. DOI: 10.36311/2675-3871.2020.v1n02.p19-40. Disponível em: <https://revistas.marilia.unesp.br/index.php/RFM/article/view/10213>. Acesso em: 18 mar. 2025.

ENGARRAFADOR MODERNO. Verallia inaugura fábrica em Jacutinga. **Engarrafador Moderno**, 8jul. 2019. Disponível em: <https://engarrafadormoderno.com.br/embalagens/verallia-inaugura-fabrica-em-jacutinga>. Acesso em: 11 mar. 2025.

FERREIRA, Eduardo Bellini; DIAS, Vitória Monteiro. **Uma análise da viabilidade da adição de vidro em concretos para construção civil**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020. Disponível em: <https://bdta.abcd.usp.br/item/003091898>. Acesso em: 26 fev. 2025.

FEVE. Glass Makers and Stakeholders Mark 2022 UN International Year of Glass. [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em: <https://feve.org/glass-makers-and-stakeholders-mark-2022-un-international-year-of-glass/>. Acesso em: 26 maio 2024.

FLEISCHMANN, B.; GRASS, G.; HARTMANN, E.; KÜHLEWEIN, M.; MÜLLER, M.; STADLER, H. Logística reversa no setor de commodities: desafios e oportunidades no Brasil. **Revista de Administração e Inovação**, v. 18, n. 3, p. 167-181, 2021. Disponível em: <https://revistaft.com.br/a-logistica-reversa-no-setor-de-commodities-desafios-e-oportunidades-no-brasil/>. Acesso em: 24 fev. 2025.

FREITAS, Jurandi Holanda de; MARTINS, Vera Lúcia F. Dias. Um estudo sobre reciclagem de vidro em Goiânia – caso Uniforte. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em [Curso]) – Universidade Estadual de Goiás, [Local]. Disponível em: <https://repositorio.ueg.br/jspui/bitstream/riueg/1947/2/TCCJurandi%20Holanda%20de%20Freitas%20e%20Vera%20Lucia%20F.%20Dias%20Martins.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2025.

GALDINO, L. et al. Inclusão social e políticas públicas na relação catadores de recicláveis e reutilizáveis e administração pública: o papel do poder público no incentivo à reciclagem e ao trabalho dos catadores de reutilizáveis. **Revista Vianna Sapiens**, v. 15, n. 2, p. 34, dez. 2024. DOI: 10.31994/rvs.v15i2.999.

GOUVEIA, Isabela. **Você sabe o que acontece com o vidro que é descartado no lixo comum?** [Vídeo]. Instagram. 25 jun. 2023. Disponível em: <https://www.instagram.com/reel/Ct7QgXbIqxN/?igsh=MXV1b2UxbTE4cnE4>. Acesso em: 20 mar. 2025.

HOLLANDER, Myles; WOLFE, Douglas A. **Nonparametric statistical methods**. 3. ed. New York: Wiley, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Inclusão dos catadores nas políticas públicas de gestão de resíduos**: um passo importante para a melhoria da coleta e da reciclagem, além de contribuir para a melhoria da qualidade de vida dos trabalhadores da reciclagem. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 11 mar. 2025.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Relatório sobre reciclagem e gestão de resíduos no Brasil 2024**. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br>. Acesso em: 25 fev. 2025.

ISBET – INSTITUTO BRASILEIRO PRÓ-EDUCAÇÃO, TRABALHO E DESENVOLVIMENTO. **Conscientização sobre reciclagem e sustentabilidade**. 2024. Disponível em: https://isbet.org.br/conscientizacao-sobre-reciclagem-e-sustentabilidade/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 6 mar. 2025.

LEMOs, Ellen. Diagnóstico da cadeia de reciclagem de embalagem de vidro em Santa Catarina. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/125091>. Acesso em: 9 fev. 2025.

MAFRA, Nícia Beatriz Monteiro. Resíduos sólidos e ciclo de vida: sustentabilidade da reciclagem de vidro na coleta seletiva, em Belo Horizonte - MG. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 13., 2018, Cuiabá. **Anais [...]**. Cuiabá: ABES, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/327834489_I-034-RESIDUOS_SOLIDOS_E_CICLO_DE_VIDA_SUSTENTABILIDADE_DA_RECICLAGEM_DE_VIDRO_NA_COLETA_SELETIVA_EM_BELO_HORIZONTE-MG. Acesso em: 9 fev. 2025.

MASSFIX. A Massfix. **Massfix**, 2024. Disponível em: <https://www.massfix.com.br/a-massfix/>. Acesso em: 25 jan. 2025.

MCDONALD, John H. **Handbook of biological statistics**. 3. ed. Baltimore: Sparky House Publishing, 2014. Disponível em: <https://biostathandbook.com/>. Acesso em: 12 fev. 2025.

MEIO AMBIENTE. **Bolsa Reciclagem**: Programa de incentivo à reciclagem em Minas Gerais. 2022. Disponível em: <https://www.meioambiente.mg.gov.br/pt/bolsa-reciclagem>. Acesso em: 27 fev. 2025.

MELO, Verônica Viviane de; DINIZ, Ravena Glicéria Noll; LIMA, Selma Clara de; LEMOS, Carlos Fernando. Análise da dificuldade de reciclagem do vidro no Brasil e a logística reversa como alternativa para minimizar os impactos ambientais. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E SUSTENTABILIDADE, 6., 2023, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: **IBEAS**, 2023. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2023/II-005.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2025.

MINITAB. **O que é o método de Tukey para múltiplas comparações?** Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/help-and-how-to/statistical-modeling/anova/supporting-topics/multiple-comparisons/what-is-tukey-s-method/>. Acesso em: 11 mar. 2025.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Panorama da logística reversa no Brasil 2024**. Disponível em: <https://www.gov.br/mma>. Acesso em: 25 fev. 2025.

MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. G.; THE PRISMA GROUP. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLOS Medicine*, v. 6, n. 7, p. e1000097, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>. Acesso em: 08 abr. 2024.

OLIVEIRA, P.; SANTOS, C. O papel da economia circular na gestão sustentável dos resíduos urbanos. *Estudos em Economia e Meio Ambiente*, v. 7, n. 1, p. 67-89, 2022.

PACHECO, Rodrigo de Novaes. **Panorama geral da reciclagem de vidro no Brasil**. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unifesp.br/server/api/core/bitstreams/4e4c4ad3-d133-41f4-98d4-4ee94fb94e82/content>. Acesso em: 12 dez. 2024.

PIMENTEL, Luiz Paulo Gomes et al. Os óbices da logística reversa relacionados à reciclagem do vidro. *Desenvolvimento em Questão*, Ijuí, v. 21, n. 59, p. 1-15, 2023. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/13433>. Acesso em: 27 fev. 2025.

PONCIANO, A. L. et al. Separação automatizada de materiais recicláveis. *Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada*, v. 7, n. 1, p. 1-10, 2022. Disponível em: <https://revista.repa.fei.edu.br/index.php/repaa/article/view/1234>. Acesso em: 27 fev. 2025.

QUEIROZ, Sandro de Souza de. **Logística reversa do vidro: vantagens e desvantagens**. 2021. Monografia (Graduação em Administração) – Centro de Ensino Superior e Desenvolvimento (CESREI), Campina Grande, 2021. Disponível em: <https://www.cesrei.edu.br/repositorio/2021/09/20/logistica-reversa-do-vidro-vantagens-e-desvantagens/>. Acesso em: 28 fev. 2025.

RIBEIRO, J. et al. Logística reversa e reciclagem de resíduos sólidos: desafios e perspectivas. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 15, n. 4, p. 310-329, 2021.

RIBEIRO, L. C. de S.; FREITAS, L. F. da S.; CARVALHO, J. T. A.; OLIVEIRA FILHO, J. D. de. Aspectos econômicos e ambientais da reciclagem: um estudo exploratório nas cooperativas de catadores de material reciclável do Estado do Rio de Janeiro. *Nova Economia*, v. 24, n. 1, p. 191–214, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/103-6351/1390>. Acesso em: 12 dez. 2024.

RICHER, Leonice Terezinha. **A importância da conscientização e da coleta seletiva no município de Palmitos - SC**. 2014. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Medianeira, 2014.

SANTANA, Alice Libânia; LANGE, Liséte Celina; MAGALHÃES, Aline Souza. O impacto do instrumento econômico Bolsa Reciclagem orientado aos catadores de materiais recicláveis sobre o mercado da reciclagem do vidro no estado de Minas Gerais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 27, n. 4, p. 671-682, jul./ago. 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/Dd57cm5G8QrsMnnsvfhtJ6k/?lang=pt>. Acesso em: 8 fev. 2025.

SEMEDO, Flávio. Informações sobre a Ciclo Soluções em Tratamento de Resíduos. Comunicação específica para estudo de caso, 2024.

SHAPIRO, Samuel S.; WILK, Martin B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>. Acesso em: 12 fev. 2025.

SILVA FILHO, Carlos Roberto Vieira da; SOLER, Fabricio. **Gestão de resíduos sólidos: O que diz a lei**. 1. ed. São Paulo: Trevisan, 2015.

SILVA, Ana Carolina Floriano da. **Sustentabilidade: reciclagem de embalagens e logística reversa**. 2021. Disponível em: <https://repositorio.unifesp.br/handle/11600/60658>. Acesso em: 11 mar. 2025.

SILVA, João; PEREIRA, Maria. Logística reversa na reciclagem do vidro: práticas de associações de catadores no oeste catarinense. **Fronteiras: Revista de História**, Dourados, v. 10, n. 2, p. 123-145, jul./dez. 2020. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/fronteiracidania/article/view/5497/5007>. Acesso em: 9 fev. 2025.

SILVA, João; PEREIRA, Maria; OLIVEIRA, Carlos. Análise da gestão de logística reversa de vasilhames de vidro em uma empresa de bebidas. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, v. 8, n. 4, p. 57-72, out./dez. 2013. Disponível em: <https://revista.feb.unesp.br/gepros/article/view/1130/610>. Acesso em: 9 fev. 2025.

SILVA, R.; ANDRADE, M. A. A evolução da reciclagem no Brasil e seus desafios. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 235-252, 2020. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RBGA/article/view/233>. Acesso em: 6 mar. 2025.

SOUSA-NETO, L. M. **Utilização de resíduo de vidro moído como adição mineral para a produção de concreto autoadensável e de alto desempenho**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2014.

SOUZA, A. F.; MENDES, L. O.. **Análise do crescimento populacional e impacto na geração de resíduos sólidos em Foz do Iguaçu: desafios e perspectivas para a gestão ambiental**. Monografia (Curso de Engenharia Ambiental), Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2022. Disponível em: <https://dspace.unila.edu.br/items/f3d62d30-82b6-469b-95dc-103fca0bdca2>. Acesso em: 18 mar. 2025.

SOUZA, Ananda Barbosa de. **Análise do perfil de utilização do vidro reciclado como componente de matrizes cimentícias: uma revisão sistemática**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/42793/4/TCC_ANANDA_BARBOSA_DE_SOUZA_final.pdf. Acesso em: 9 fev. 2025.

STATSOFT, Inc. **STATISTICA (data analysis software system)**. Version 12. Tulsa, OK: StatSoft, 2013.

STURZENEGGER, G. Inclusão de catadores na gestão de resíduos sólidos. *Ideação*, 2013. Disponível em: <https://blogs.iadb.org/brasil/pt-br/inclusao-de-catadores-na-gestao-de-residuos-solidos/>. Acesso em: 6 mar. 2025.

TARDIM, Ana Carolyn Chagas; ALMADA, Eliliane Vasconcelos Corrêa. O impacto da pandemia de COVID-19 na geração de resíduos sólidos. **Meio Ambiente**, [S.l.], v. 1, p. 1-12, 2021. Disponível em: <https://meioambientebrasil.com.br/index.php/MABRA/article/view/181>. Acesso em: 02 fev. 2025.

TORRES, R. G.; MELO, M. de L. N. M.; SANTOS, V. C. dos; RIBEIRO, V. A. dos S.; OLIVEIRA, A. F.; ALVES, A. P. M. Investigation of the physical and mechanical properties of self-adhesive composite with replacement of the kid aggregate by glass powder. *Research*,

Society and Development, [S. l.], v. 11, n. 13, p. e481111335642, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i13.35642. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/35642>. Acesso em: 11 mar. 2025.

TRIBUNA DE MINAS. **Apenas 1% dos resíduos coletados em Juiz de Fora é reciclado**. 2024. Disponível em: <https://tribunademinas.com.br/especiais/biosfera/03-02-2024/apenas-1-dos-residuos-coletados-em-jf-e-reciclado.html>. Acesso em: 11 mar. 2025.

UNITED NATIONS. International Year of Glass 2022. [S.l.]: United Nations, 2022. Disponível em: <https://www.un.org/en/observances/international-years>. Acesso em: 26 maio 2024.

VALOR ECONÔMICO. Setor de vidro alcança meta de reciclagem em 2024. **Valor Econômico**, São Paulo, 21 fev. 2025. Disponível em: <https://valor.globo.com/brasil/noticia/2025/02/21/setor-de-vidro-alcanca-meta-de-reciclagem-em-2024.ghtml>. Acesso em: 27 fev. 2025.

VIANA, Fernando de Oliveira; SILVA, Francisco de Assis Cardoso da. Logística reversa de reciclagem de vidro: estudo de caso em uma empresa de bebidas alcoólicas. **Sustainable Business International Journal**, v. 3, n. 1, p. 1-15, 2018. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/sbijournal/article/view/10234/7128>. Acesso em: 9 fev. 2025.

WILCOX, Rand R. Introduction to robust estimation and hypothesis testing. 4. ed. San Diego: Academic Press, 2017.