

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**DIFICULDADES INERENTES DA RECICLAGEM DE VIDROS NO BRASIL E SUAS  
ALTERNATIVAS**

**ANGELO ALBUQUERQUE MARTINS BACCHI**

**SÃO CARLOS - SP**

**2024**

## **DIFICULDADES INERENTES DA RECICLAGEM DE VIDROS NO BRASIL E SUAS ALTERNATIVAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ana Candida Martins Rodrigues  
Coorientador: Dr Mauro Akerman

SÃO CARLOS - SP

2024



## ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

**NOME:** Angelo Albuquerque Martins Bacchi

**RA:** 727364

**TÍTULO:** Dificuldades inerentes da reciclagem de vidros no Brasil e suas alternativas

**ORIENTADOR(A):** Profa. Dra. Ana Candida Martins Rodrigues

**CO-ORIENTADOR(A):** Mauro Akerman

**DATA/HORÁRIO:** 02/02/2024, 14h

### BANCA – NOTAS:

	Monografia	Defesa
Profa. Dra. Ana Candida Martins Rodrigues	8	8
Prof. Dr. Oscar Peitl Filho	8	8
<b>Média</b>	8	8

### BANCA – ASSINATURAS:

Profa. Dra. Ana Candida Martins Rodrigues

Prof. Dr. Oscar Peitl Filho

Dedico este trabalho aos meus pais e a minha avó.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer à minha orientadora, prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Candida, pelo apoio, sugestões e por sempre se demonstrar acessível e compreensiva. Agradeço também ao meu coorientador, Dr. Mauro Akerman, por todo apoio e materiais compartilhados.

Gostaria também de agradecer a minha família, aos meus pais, Márcio e Fernanda, por todo apoio e incentivo que sempre me deram, aos meus irmãos, Luca e Ana Luiza, por todas as conversas, desabafos e risadas juntos, e à minha querida avó, Giselda, por todo apoio e incentivo. Obrigado a todos pelo apoio e por me fazerem ser quem sou.

A todos amigos que fiz durante a faculdade, por terem feito parte de toda essa jornada e por todos os momentos que dividimos.

À Evelyn Iwamoto, por estar sempre ao meu lado, por todo o apoio e por tudo que foi construído a partir de uma amizade.

Por fim, a todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia de Materiais por todo conhecimento e ensinamentos passados.

## RESUMO

Ao analisar a história da humanidade, percebe-se que os vidros sempre se fizeram presentes, seja na forma de ferramentas, adornos, vasos, janelas, vitrais, garrafas, copos, utensílios de cozinha, e, em tempos mais recentes, além de todas essas outras maneiras citadas os vidros também estão nas janelas dos automóveis, nas telas dos celulares, nas células fotovoltaicas, nas fibras de vidro que compõem a rede internet, entre outros. Tendo em vista essa amplitude de usos, e levando em consideração a forma como o consumo se dá exacerbadamente em nossa sociedade, a reciclagem se faz necessária de forma a minimizar os impactos causados, reprocessando os materiais descartados e dando-lhes um novo uso. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo entender como se dá a reciclagem dos vidros no Brasil, as suas dificuldades inerentes e possíveis caminhos a serem seguidos.

**Palavras-chave:** Reciclagem de vidros no Brasil. Dificuldades reciclagem de vidros.

## ABSTRACT

Analyzing the history of humanity, it's possible to observe that glass has always been present, whether in form of tools, ornaments, vases windows stained glass, bottles, glasses, kitchen utensils, and, in more recent times, in addition to all these ways mentioned, glass is also used in car windows, cell phone screens, photovoltaic cells, the glass fibers that make up the internet network, among others. With this wide range of uses and assuming the enormous consumption in the society, recycling is necessary to minimize the impacts, reprocessing discarded materials and giving them a new use. In this context, the aim of this study is to understand how glass is recycled in Brazil, its inherent difficulties, and possible ways to solve them.

**Keywords:** Glass recycling in Brazil. Difficulties of glass recycling.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVO</b> .....	<b>4</b>
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>5</b>
<b>4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>6</b>
4.1 VIDRO .....	6
4.2 PROCESSAMENTO DO VIDRO .....	9
4.3 INDÚSTRIA DO VIDRO NO BRASIL .....	11
4.4 RECICLAGEM DO VIDRO .....	15
4.5 BENEFICIAMENTO DOS CACOS DE VIDRO .....	17
4.6 RECICLAGEM DO VIDRO NO BRASIL .....	18
4.7 LOGÍSTICA REVERSA .....	20
<b>5 DISCUSSÃO DE RESULTADOS</b> .....	<b>23</b>
5.1 PROBLEMAS LOGÍSTICOS .....	23
5.2 PROBLEMAS ESTRUTURAIS .....	24
5.3 REGIÃO SUDESTE .....	25
5.4 PROGRAMAS DE LOGÍSTICA REVERSA .....	26
5.5 OUTRAS UTILIZAÇÕES PARA O CACO DE VIDRO .....	26
<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>28</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>29</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os vidros sempre tiveram um papel fundamental na história da humanidade sendo o primeiro contato do ser humano com o vidro ainda no neolítico quando mesmo antes de saber como produzir, o homem primitivo fazia uso de vidros naturais como a obsidiana, que possui uma origem vulcânica, para a fabricação de equipamentos quebrando o material de forma controlada, a fim de obter instrumentos cortantes (NAVARRO, 2003).

Quanto aos primeiros objetos de vidro, não há formas de dizer precisamente quando e onde isso aconteceu. Todavia, a descoberta do fogo permitiu ao homem o acesso a altas temperaturas e, por consequência, o exercício de atividades como a metalurgia, olaria e fabricação de vidros, sendo a última desenvolvida casualmente por consequência das anteriores. Segundo Navarro, algumas teorias creditam essa descoberta aos metalúrgicos, uma vez que os primeiros vidros apresentavam uma cor verde azulada, cor esta que pode estar associada com as escórias da produção de cobre e bronze; outra possível origem igualmente verossímil é atribuída aos oleiros primitivos, onde, ao sobreaquecer suas peças, teria sido promovida uma vitrificação acidental, mesmo essa sendo uma provável origem o vidro enquanto material com uma identidade própria só iria surgir depois de muitos séculos, uma vez que a vidraria envolve temperaturas muito mais elevadas além de outras complexidades operacionais. Apesar da dificuldade de se precisar com exatidão o local e o período, essa descoberta é normalmente relacionada com a região do crescente fértil em um período entre o final do Neolítico e o começo da Idade do Bronze, ou seja, por volta de 3.000 AEC à 2.000 AEC (NAVARRO, 2003).

Por fim uma terceira teoria de origem, e provavelmente a mais conhecida, foi descrita por Plínio, o Velho no volume XXV de sua obra História Natural. Nela a descoberta do vidro é atribuída a mercadores fenícios, que ao fazerem fornos improvisados com natrão, mineral constituído por carbonato de sódio, sobre as areias perceberam a formação de um material com características nunca vistas (NAVARRO, 2003).

Posteriormente o vidro começou a se difundir pelo velho mundo. O registro mais antigo de como se obter vidro foi encontrada na grande biblioteca do rei assírio Assurbanípal, escrito em tabletas de argila entre 669 e 627 AEC e aponta a seguinte composição: “60 partes de areia, 180 partes de cinzas de plantas marinhas, e 5 partes

de giz”. Por volta de 200 AEC os artesões Sírios revolucionaram a produção de vidros ao desenvolver a cana de soprar vidro, assim facilitando a produção de vidros ocós, essa técnica foi então incorporada e difundida pelos romanos. No século I foi desenvolvida uma técnica para obter-se vidros planos, onde o vidro era soprado até atingir uma forma cilíndrica que posteriormente era cortado e “planificado”, sendo essa a técnica mais utilizada para a preparação de vidros planos até o começo do século XX (BERENJIAN; WHITTLESTON, 2017).

A partir do século XVII os vidros deixaram de ser utilizados apenas para igrejas e passaram a estar presente em palácios, o que aumentou significativamente a demanda desse material, levando assim ao desenvolvimento de novas técnicas tal como a inventada pelo francês Bernard Perrot em 1687, onde o vidro fundido era despejado em uma mesa de cobre pré-aquecida e prensado no formato de um painel por um rolo metálico resfriado com água, possibilitando assim a obtenção de painéis de vidro de até 1,20 x 2,00 m, porém apesar de baratear o custo, as janelas de vidro continuaram apresentando um custo significativamente alto (BERENJIAN; WHITTLESTON, 2017).

Finalmente na década de 1950, o inglês Alastair Pilkington desenvolve o método da flotação para a fabricação de vidros planos com excelente qualidade ótica e espessura controlada onde o vidro fundido é derramado em um tanque com estanho fundido, e por causa da diferença de densidade o vidro flutua sob a superfície do estanho (BERENJIAN; WHITTLESTON, 2017).

Quanto ao contexto brasileiro, a indústria do vidro tem seu início apenas no século XVII a partir das invasões holandesas em Olinda e Recife. Já no século XIX, mais especificamente em 1810, na Bahia, foi instalada a primeira indústria de vidro no Brasil com produção por sopro e prensagem, produzindo vidros lisos, frascos, garrafões e garrafas, contudo a fábrica foi fechada ainda em 1825 por conta de dificuldades financeiras e a concorrência com produtos estrangeiros.

Posteriormente, no início do século XX foram desenvolvidos fornos contínuos para produção em série. Durante a década de 1950, o intenso processo de industrialização do Brasil trouxe um investimento do exterior para o setor de vidros, causando um aumento considerável no número de empresas instaladas e capacidade produtiva.

A reciclagem do vidro por sua vez, ao contrário do que se deve imaginar, vem de forma similar acompanhando a história da humanidade. De fato, diversas fontes

arqueológicas assim indicam. Algumas dessas fontes embasam-se em achados arqueológicos que apontam para um acúmulo de cacos de vidros em antigos assentamentos militares romanos, que indicam até mesmo uma possível participação militar na cadeia de reciclagem de vidros. Além disso a possibilidade de o vidro quebrado ser refundido e por conseguinte ser reprocessado é contemplada em diversas fontes literárias do período da dinastia flaviana (69 – 96) (KELLER, 2004).

De fato, o vidro é um material 100% reciclável e que pode passar por infinitos ciclos, além disso a sua reciclagem é extremamente benéfica em relação a custos e preservação do meio ambiente. Levando em consideração esses pontos, como está esse segmento no Brasil? Quais são as potencialidades? As limitações?

## **2 OBJETIVO**

O presente trabalho tem como objetivo entender e elencar quais são as dificuldades encontradas na reciclagem dos cacos de vidro no Brasil, como elas ocorrem, a forma como afetam o processo, e através disso propor medidas que possam ajudar a solucionar essa questão.

### **3 METODOLOGIA**

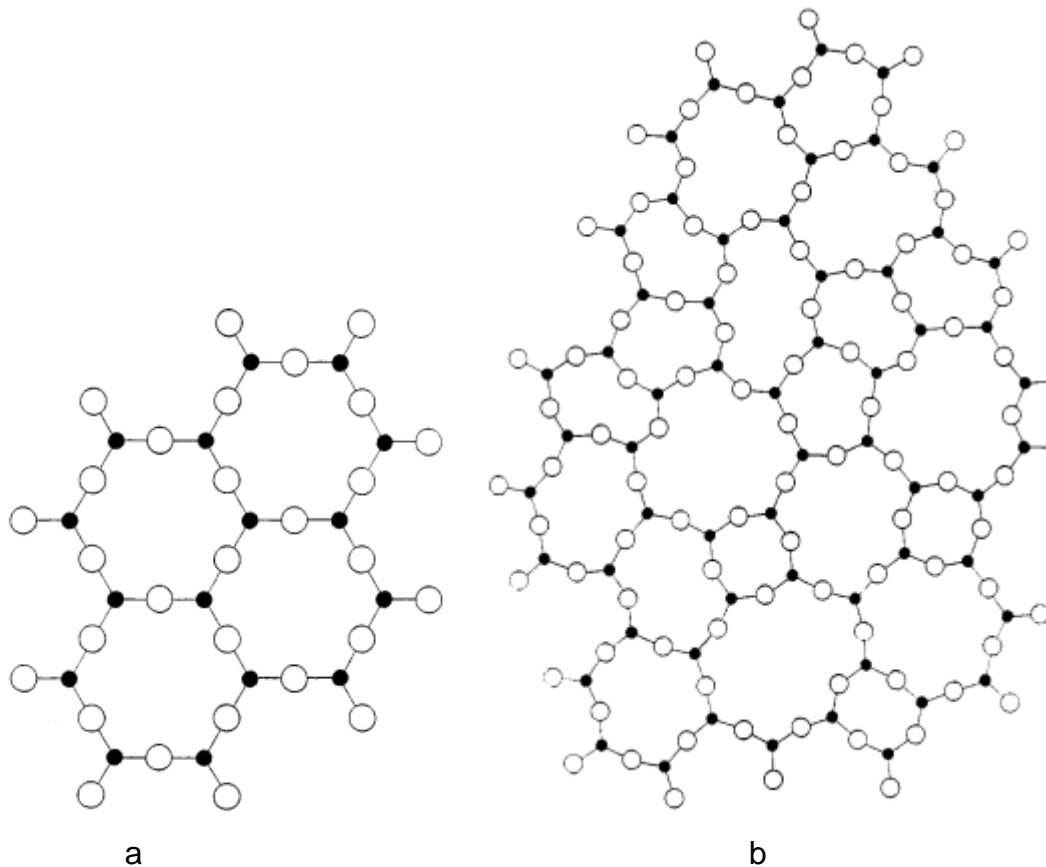
Para a elaboração deste trabalho foi utilizada a metodologia de revisão bibliográfica de caráter descritivo e exploratório, foram procurados estudos sobre a reciclagem de vidros, beneficiamento do caco de vidro, dificuldades da reciclagem de vidros, logística reversa do vidro. Para tanto foram usadas palavras-chave como “reciclagem de vidros no Brasil”, “dificuldades para a reciclagem de vidros”, “utilização de cacos de vidro”, “beneficiamento do caco de vidro”, tanto em português quanto em inglês, em bancos de dados como Google, Google Acadêmico e ScienceDirect. Além disso, ainda foram utilizados materiais disponibilizados pelo Dr. Mauro Akerman, e outros que foram encontrados a partir das referências dos artigos analisados.

## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 4.1 VIDRO

Por toda a literatura pode-se encontrar diversas definições para vidros que foram propostas ao longo do tempo. Os primeiros estudos remetem a Michael Faraday, em 1830, que propôs que vidros seriam materiais “mais aparentados a uma solução de diferentes substâncias do que a um composto em si”. Outras definições iniciais seguiram um caminho baseado na viscosidade dos sólidos, onde sólido é um material rígido, que não escoia quando submetido a forças moderadas. Baseando-se nesse conceito e considerando que nesse período vidros eram obtidos apenas pelo método de fusão/resfriamento, a definição dada foi de que o vidro é “um material formado pelo resfriamento do estado líquido normal, o qual exhibe mudanças contínuas em qualquer temperatura, tornando-se mais ou menos rígido através de um progressivo aumento da viscosidade, acompanhado da redução da temperatura do fundido”, ou ainda de forma mais simples “um produto inorgânico fundido, que atinge por resfriamento uma condição rígida, sem que ocorra cristalização” (ALVES; GIMENEZ; MAZALI, 2001).

A fim de explicar a estrutura de vidros, em 1921, Labeledev propôs a Hipótese do Cristalito, na qual o vidro é considerado “um fundido comum consistido de cristais altamente dispersos”, essa hipótese, porém, foi sendo desconsiderada (ALVES; GIMENEZ; MAZALI, 2001). No ano de 1932, Zachariasen, em seu artigo histórico *The Atomic Arrangement in Glass* (o Arranjo Atômico em Vidros), propôs que “o arranjo atômico em vidros era caracterizado por uma rede tridimensional estendida, a qual apresenta ausência de simetria e periodicidade”, contudo, em que “as forças interatômicas eram comparáveis àquelas do cristal correspondente”. Neste mesmo artigo é proposta a figura 1, onde em 1(a), pode-se observar de forma bidimensional uma estrutura cristalina, enquanto em 1(b) é apresentada uma rede do mesmo composto para um vidro, e de fato, é possível observar que em 1(b) os átomos não apresentam ordem a longa distância (ZACHARIASEN, 1932).



*Figura 1 - representação bidimensional de (a) um arranjo cristalino de um cristal de composição  $A_2O_3$  e (b) representação de rede do vidro do mesmo composto (ZACHARIASEN, 1932).*

Em 1997, Shelby propôs a definição “vidro é um sólido amorfo com ausência completa de ordem de longo alcance e periodicidade, exibindo uma região de transição vítrea. Qualquer material, inorgânico, orgânico ou metal, formado por qualquer técnica, que exibe um fenômeno de transição vítrea é um vidro”. No entanto, Gupta, em 1995, publica o artigo Non-crystalline Solids: Glasses and Amorphous Solids (Sólidos Não Cristalinos: Vidros e Sólidos Amorfos), nele Gupta aponta que um sólido não cristalino, do ponto de vista termodinâmico, pode ser dividido em vidros e sólidos amorfos, considerando sólidos não cristalinos como todos materiais que apresentem rede tridimensional estendida e aleatória, sendo um vidro quando apresenta o fenômeno de transição vítrea, e caso o contrário seria um sólido amorfo, tornando assim a definição de Shelby imprecisa (ALVES; GIMENEZ; MAZALI, 2001).

Ainda é possível encontrar na literatura definições mais atuais, como a proposta por Zanotto e Mauro, em 2017, “Vidro é um estado de matéria condensada fora do equilíbrio termodinâmico, não cristalino, que exibe uma transição vítrea. As estruturas

dos vidros são semelhantes a dos seus líquidos super-resfriados (LSR) e relaxam espontaneamente em direção ao estado de LSR. Seu destino final, para tempos infinitamente longos, é cristalizar.” Ou, de forma mais simples, “O vidro é um estado fora do equilíbrio termodinâmico e não cristalino da matéria, que parece sólido em uma curta escala de tempo, mas que relaxa continuamente em direção ao estado líquido” (ZANOTTO; MAURO, 2017).

Tendo em vista essas definições, entende-se que os vidros compreendem uma ampla classe de materiais com as mais diversas composições. Entretanto, do ponto de vista comercial 90% dos materiais vítreos apresentam uma composição baseada em sílica, cal e soda (SHREVE; BRINK JR, 1997). Na tabela 1 estão algumas composições químicas de vidros comerciais.

**Tabela 1 - Composições químicas de vidros comerciais.**

<b>Tipo</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>B<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>As<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>CaO</b>	<b>MgO</b>	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>SO<sub>3</sub></b>
<b>Vidro de Janela</b>	69,4	-	3,5	1,6	-	8,2	-	17,3	-	-
<b>Vidro Laminado</b>	72,8	-	0,8	0,8	-	12,7	0,2	12,7	-	-
<b>Chapa Polida</b>	72,7	-	0,7	0,1	-	12,9	-	13,2	-	0,4
<b>Cristal</b>	74,2	0,4	-	-	0,2	4,3	3,2	17,7	-	-
<b>Vidro de Óculos</b>	69,3	0,3	-	-	-	12,4	-	6,2	11,8	-
<b>Vidro de Garrafa</b>	70,5	-	1,5	-	-	13,0	1,0	14,0	-	-

FONTE: Shreve e Brink Jr (1997).

Pode-se perceber que dentre essas composições alguns dos óxidos se destacam mais, como é o caso da sílica (SiO<sub>2</sub>), que é o principal componente para a fabricação de vidros comerciais, essa sílica é obtida através da areia, que deve ter uma pureza elevada, pois a presença de elementos como ferro podem causar alterações na coloração do produto (SHREVE; BRINK JR, 1997).

A sílica é conhecida como um elemento formador, e ela em sua forma pura se fundida e resfriada rapidamente forma um vidro com excelentes propriedades, porém com o revés de apresentar um elevado ponto de fusão e uma viscosidade extremamente alta. De forma a contornar esse problema são empregados elementos conhecidos como fundentes como o óxido de cálcio (CaO) e o óxido de sódio (Na<sub>2</sub>O), que por conta das afinidades do sódio e do cálcio com o oxigênio acabam por se ligar ao mesmo e o impedindo de se ligar ao silício, assim cortando a rede, assim a deixando mais fraca e por consequência, reduzindo a viscosidade e temperatura de

trabalho do material (AKERMAN, 2014).

Dentre esses dois elementos fundentes o sódio apresenta uma eficiência superior, no entanto, em excesso ele aumenta a solubilidade do vidro, sendo e por isso o sódio deve ser adicionado de forma limitada, o cálcio, por outro lado, mesmo sendo menos eficiente, é menos solúvel em água afetando menos as propriedades do vidro quanto a solubilidade (AKERMAN, 2014).

Em geral, as matérias primas utilizadas para a fabricação do vidro são abundantes no território natural, com exceção da barrilha, a principal fonte de  $\text{Na}_2\text{O}$ , que chega a representar até 60% dos custos em matérias mesmo representando 12% do peso. Ela era fabricada no Brasil até 2006, quando a Companhia Nacional de Álcalis encerrou suas atividades, contudo isso não afetou consideravelmente a indústria vidreira nacional uma vez que essa demanda foi bem absorvida pelo mercado internacional (da ROSA; COSENZA; BARROSO, 2007).

Apesar de ao tratar-se de vidros normalmente falar-se sobre o processo de fusão, na realidade durante o processo ela não ocorre de fato, isso porque a sílica tem a sua fusão apenas em torno de  $1.720^\circ\text{C}$  enquanto os fornos para vidro não costumam ultrapassar  $1.600^\circ\text{C}$ , sendo assim, o que realmente ocorre nesse processo são reações químicas que quebram as ligações criando novas, esse processo ocorre pois as materiais primas fundentes, como a barrilha e o calcário, sim fundem-se abaixo da temperatura do forno formando uma massa líquida que corrói os grãos de  $\text{SiO}_2$  que então passa a incorporar a fase líquida. Contudo, devido a elevada viscosidade causa uma dificuldade quanto a homogeneização e a uma grande presença de bolhas na massa vítrea, advindas do ar previamente entre os grãos e do  $\text{CO}_2$  gerado pela descarbonetação das matérias primas, fazendo-se assim necessário o processo de afinagem que se dá pelo aumento da temperatura do banho aliada a decomposição do sulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) (AKERMAN, 2014).

## 4.2 PROCESSAMENTO DO VIDRO

De forma geral, a indústria vidreira apresenta-se com uma atividade energointensiva, uma vez que para fundir a matéria prima virgem são necessárias temperaturas extremamente elevadas, alguns exemplos mais clássicos de setores energointesivos são, em sua maioria, indústrias de produção primária como do aço e do alumínio. Porém, analisando de forma mais cuidadosa a indústria vidreira, percebe-

se a mesma como um setor complexo e heterogêneo quanto a produtos e uso, tendo assim alguns produtos mais próximos do consumidor final, enquanto outros ainda precisarão passar por mais etapas de processamento para tal (SCHMITZ *et al.*, 2010).

Tendo em vista essa heterogeneidade da indústria vidreira, esses diversos produtos da indústria vidreira podem ser divididos em famílias, tais quais: vidros planos; embalagens; domésticos; fibras de reforço; fibras ópticas; lâ de vidro; tubos isoladores; telhas e tijolos; iluminação. Uma outra forma de classificação é usada pela ABIVIDRO (Associação Técnica Brasileira dos Produtores Automáticos de Vidro), agrupando os vidros em 4 diferentes categorias, vidros planos, embalagens, produtos de mesa ou domésticos, e vidros técnicos (AKERMAN, 2014).

Dentre essas quatro categorias, as três primeiras têm um maior destaque. Representando 93,9% da produção do setor em 2008 segundo relatório da ABIVIDRO. Apresentando uma porcentagem de 93,7% no Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Minerais Não Metálicos de 2013 do Ministério de Minas e Energia. Além disso, devido as movimentações mais recentes na indústria vidreira indicam que deve ter ocorrido um aumento na proporção da participação dessas categorias (AKERMAN, 2014).

#### I Vidro plano

Dentro desse tipo de vidro existe uma subdivisão entre vidro liso, que são os vidros produzidos por flotação, apresentando superfícies lisas com aspecto transparente; e vidro impresso, no qual uma de suas faces apresenta um padrão em relevo de forma a conferir um aspecto translúcido. Por sua vez o mercado de vidros planos se divide nas seguintes categorias:

- Vidro automobilístico: são os utilizados em carros, caminhões, trens, ônibus, entre outros. Podendo ou não passar por alguma transformação posterior a etapa de conformação com, por exemplo, laminação ou têmpera. Esse grupo utiliza-se apenas de vidros do tipo liso por conta das necessidades óticas da aplicação;
- Vidros para eletrodomésticos: utilizados em fogões, fornos, geladeiras, máquinas de lavar, entre outros. Sendo empregados tanto vidros lisos quanto impressos;
- Vidros para construção civil: são utilizados em portas, pisos, janelas, telhados, entre outros. Podendo passar por alguma transformação posterior, tal qual,

laminação, têmpera ou com a aplicação de revestimento superficial. Sendo empregados tanto vidros lisos quanto impressos;

- Vidros empregados em móveis e decorações, como vidros em mesas e espelhos. Sendo empregados tanto vidros lisos quanto impressos.

É importante destacar que a existência da divisão entre vidros lisos e impressos se dá principalmente, pois as exigências de qualidade ótica dos vidros lisos tornam o seu processamento mais custoso em termos energéticos.

## II Vidros embalagem

São subdivididos em:

- Potes: usados para conter alimentos;
- Garrafas: embalagens para diversos tipos de bebidas;
- Frascos: usados como embalagem para medicamentos e produtos de perfumaria.

Quanto ao consumo energético para fabricação, esses subtipos de vidro são todos colocados na mesma categoria de “embalagem”.

## III Vidros domésticos

Esse último grupo apresenta um nível de exigência de qualidade e consumo energético semelhante aos vidros embalagem, e são compreendidos por: copos, jarras, pratos, entre outros.

### 4.3 INDÚSTRIA DO VIDRO NO BRASIL

Como detalhado no item anterior, até 2013 no contexto brasileiro a indústria vidreira tinha mais de 93% de sua produção focada nas categorias de vidros planos, vidros embalagem e vidros domésticos, e que de acordo com a movimentação do mercado, essas três categorias devem representar uma fatia ainda maior do setor. Por conta disso este trabalho excluirá os vidros técnicos de sua abordagem.

Na Classificação Nacional por Atividades Econômicas (CNAE – IBGE), a indústria vidreira é classificada como CNEA2.0 23.1 (Fabricação de vidro e produtos de vidro), que engloba as classes 23.11-7 (Fabricação de vidro plano e de segurança), 23.12-5 (Fabricação de embalagens de vidro) e 23.19-2 (Fabricação de artigos de vidro). Essa classificação, no entanto, acaba por agrupar a indústria de base com a indústria de transformação, sendo as indústrias de base responsáveis pela fusão do

vidro, enquanto as indústrias de transformação apresentam a formação do produto, como a decoração das embalagens ou ainda como toda a cadeia produtiva de um vidro plano (AKERMAN, 2014). Do ponto de vista da reciclagem de vidros, as indústrias de base têm uma importância significativamente maior uma vez que é nesse setor onde ocorre a fabricação do vidro e, portanto, o caco de vidro pode ser utilizado. No entanto os setores de transformação ainda possuem um papel na cadeia de reciclagem, já que nessa etapa existe um potencial de geração de cacos de vidro de procedência conhecida para alimentação da indústria de base.

Os processos de transformação apresentam-se mais espalhados pelo território nacional envolvendo cerca de 300 empresas em 2013 e empregando cerca de 30 mil pessoas em 2022. Por outro lado, o setor de base apresenta um perfil mais concentrado, sendo composto por aproximadamente por 20 empresas que empregam 12 mil pessoas. Essa configuração mais fechada da indústria de base se dá principalmente pelo processo ser muito intensivo em relação a capital (AKERMAN, 2014) (ABRAVIDRO, 2023).

Na tabela 2 é possível observar uma relação das fábricas de vidros instaladas no Brasil, assim como outras informações relevantes, como localização e capacidade produtiva (t/dia).

**Tabela 2 - Relação das fábricas de vidro brasileiras**

<b>Estado</b>	<b>Cidade</b>	<b>Empresa</b>	<b>Produto</b>	<b>Nº de fornos</b>	<b>Capacidade produtiva (t/dia)</b>	<b>Origem</b>
<b>Ceará</b>	Fortaleza	Owens Illinois	Embalagem	1	90	EUA
<b>Minas Gerais</b>	Jacutinga	Verallia	Embalagem	2	700	França
<b>Pernambuco</b>	Recife	Owens Illinois	Embalagem	2	490	EUA
	Vitória de Santo Antão	Owens Illinois	Embalagem	2	220	EUA
	Goiana	Vivix	Plano float	1	900	Brasil
<b>Rio de Janeiro</b>	Rio de Janeiro	Owens Illinois	Embalagem + Doméstico	2	500	EUA
	Rio de Janeiro	Ambev	Embalagem	2	700	Brasil
	Porto Real	Guardian	Plano float	1	600	EUA
<b>Santa Catarina</b>	Barra Velha	Cebrace	Plano float	1	600	Japão/França
<b>São Paulo</b>	Guaratinguetá	AGC	Plano float	2	1.450	Japão
	Caçapava	Cebrace	Plano float	1	600	Japão/França
	Jacareí	Cebrace	Plano float	3	2.400	Japão/França
	Itaquaquecetuba	Nadir Figueiredo	Embalagem + doméstico	2	400	Brasil
	Tatuí	Guardian	Plano float	1	830	EUA
	Porto Ferreira	Verallia	Embalagem	1	400	França
	Porto Ferreira	Vidroporto	Embalagem	3	650	Brasil
	São Bernardo	Wheaton Brasil Vidros	Embalagem + doméstico	4	200	Brasil
	São Paulo	Owens Illinois	Embalagem	3	1.000	EUA
	São Paulo	Anchieta	Embalagem	1	80	Brasil
<b>Sergipe</b>	Estância	Vidroporto/IVN	Embalagem	1	350	Brasil
<b>Rio Grande do Sul</b>	Campo Bom	Verallia	Embalagem	2	600	França
<b>Total</b>				<b>38</b>	<b>13.760</b>	

Fonte: Adaptado de Akerman (2014).

Além das indústrias apresentadas na tabela ainda está em construção uma nova vidraria da Ambev, localizada no município de Carambeí no Paraná (AKERMAN, 2023).

De acordo com a tabela 2, atualmente existem 21 vidrarias espalhadas por todo território nacional pertencentes a 11 grupos empresariais com uma capacidade produtiva total de 13.760 t/dia, as plantas estão distribuídas num total de 17 municípios em oito estados diferentes, a maior concentração está no estado de São Paulo, com oito cidades e grupos diferentes. No setor de plano *float* existem quatro empresas instaladas no Brasil:

- AGC, empresa japonesa;
- Cebrace, empresa franco-nipônica;
- Guardian, empresa estado unidense;
- Vivix, empresa brasileira.

No setor de vidros de embalagem são ao todo sete empresas instaladas:

- Ambev, empresa brasileira;
- Anchieta, empresa brasileira;
- Nadir Figueiredo, empresa brasileira;
- Owens Illinois, empresa estado unidense;
- Verallia, empresa francesa;
- Vidroporto, empresa brasileira;
- Wheaton Brasil Vidros, empresa brasileira.

Por fim, no setor de embalagens são três as empresas:

- Nadir Figueiredo, empresa brasileira;
- Owens Illinois, empresa estado unidense;
- Wheaton Brasil Vidros, empresa brasileira.

Na figura 2, pode-se também observar em um mapa como se dá a distribuição dessas fabricas pelo território nacional.



Figura 2 - Distribuição da indústria do vidro no Brasil (Elaborado pelo autor).

No mesmo pode-se observar uma grande concentração das plantas no estado de São Paulo e, em geral, na região litorânea do Brasil enquanto o interior do Brasil apresenta praticamente nenhuma planta, com nenhuma instalação nas regiões Norte e Centro Oeste.

#### 4.4 RECICLAGEM DO VIDRO

Dentre os materiais recicláveis o vidro apresenta um grande destaque, isso porque ele possui um potencial altíssimo em reciclagem, podendo ser reprocessado infinitamente. Além disso, o caco de vidro pode ser utilizado junto com uma parte de matéria prima virgem ou até mesmo sozinho apresentando nenhuma perda de volume

(LEMOS, 2012) (ABIVIDRO, 2020).

Para passar pelo processo de reciclagem, o caco de vidro deve apresentar uma série de aspectos. Um desses é que esse material deve ter sua composição química conhecida. Como já apresentado, o vidro pode ser utilizado em uma quantidade significativa de aplicações, sendo que para cada uma delas esse material apresentará uma proporção diferente dos elementos constituintes, então é de extrema necessidade conhecer a composição desse vidro para poder ajustar com a adição de matéria prima virgem o balanço de óxidos necessários para a aplicação em que o vidro será usado (AKERMAN, 2021).

Um outro aspecto que deve ser respeitado é que o material seja separado por cores, pois conforme alguns elementos são adicionados os vidros podem apresentar toda um espectro de colorações, então em termos de reciclagem, vidros incolores podem ser utilizados não só para a produção de vidros incolores, mas também para a de vidros coloridos, enquanto vidros coloridos só podem ser usados para produzir vidros coloridos (AKERMAN, 2021). Além desses dois requisitos, os vidros não podem apresentar impurezas, fazendo-se necessária uma etapa de beneficiamento dos cacos de vidro.

Com esses pontos assegurados, os cacos podem então ser submetidos ao processo produtivo e sua utilização trará diversas vantagens, uma delas diz respeito a uma economia de energia. Essa economia de energia ocorre, pois em um processo produtivo para formar vidro a partir de cacos de vidro a energia será empregada para o aquecimento dos cacos até a temperatura de conformação, enquanto, ao partir de matéria prima virgem haverá gastos energéticos envolvendo as reações químicas entre elas, além do aquecimento do banho para a afinagem e do calor levado pelos gases (AKERMAN, 2014).

Ainda segundo Akerman (2014) “enquanto são necessários 2,889 GJ/t para a produção do vidro a partir de matérias-primas apenas 1,616 GJ/t são exigidas quando o insumo é o caco.” E como consequência disso, a energia a ser utilizada na fabricação do vidro varia com o teor de caco usado, dessa forma, a reciclagem do vidro ainda permite uma redução nas emissões de CO<sub>2</sub>. Outra vantagem ecológica apresentada pelo uso do caco de vidro está relacionada com a redução na utilização de recursos naturais, uma vez que há uma redução na demanda por matérias primas novas.

Além das vantagens apresentadas, a reciclagem pode também apresentar um

papel estratégico para a indústria vidreira, isto é, podem ser feitos estoques de cacos de vidro para ser utilizado em caso de falta de matérias primas (AKERMAN, 2013).

#### 4.5 BENEFICIAMENTO DOS CACOS DE VIDRO

Como apontado anteriormente, a utilização dos cacos de vidro é responsável por diversos benefícios quando usado para a fabricação de outros vidros, como a economia de energia e a redução do uso de materiais primas não renováveis. Contudo, para ser utilizado para este fim, e assegurar como resultado um produto final com os requisitos necessários quanto à qualidade e aspectos físicos de interesse (como, por exemplo, a cor), além de promover uma melhor preservação da estrutura do forno, faz-se necessária uma etapa de beneficiamento dos cacos de vidros assegurando assim uma matéria prima com a ausência de impurezas, e com cor e composição química conhecida.

Ao que diz respeito à ausência de impurezas, ela se faz necessária, pois elas podem acarretar diversos problemas a respeito da qualidade do vidro a ser produzido. Um exemplo muito claro disso ocorre em decorrência de impurezas que venham gerar uma inclusão, que a depender da aplicação impossibilita esse vidro de ser submetido ao processo de tempera, pois, a sua presença causa a quebra das chapas de vidro durante o processo (AKERMAN, 2014). Isso sem contar que as inclusões podem trazer um prejuízo quanto à estética do material de forma a até mesmo inviabilizar sua aplicação em produtos que precisam de um maior apelo visual.

Em geral as impurezas podem ser divididas nas seguintes categorias: Pedras, cerâmicas, concreto e louças; Material orgânico; e Metais ferrosos e não ferrosos. Cada uma dessas diferentes categorias de impurezas afetará o vidro reciclado de diferentes formas. As impurezas como pedras, cerâmicas, concreto e louças, por tratar-se de produtos inorgânicos com um elevado ponto de fusão, são de difícil fusão nas condições de trabalho dos fornos para vidro e, além disso, tem uma composição muito diferente da massa vítrea, podendo resultar em infundidos (LEMOS, 2012).

Por outro lado, a matéria orgânica volatiliza com facilidade nas temperaturas de trabalho do forno, e, se em grande quantidade, pode alterar a atmosfera do forno, causando reações químicas que podem alterar a cor do produto ou até mesmo gerar bolhas (LEMOS, 2012).

Já em relação aos metais ferrosos e não ferrosos, existe uma série de defeitos

que podem estar relacionados à presença dessas impurezas, dentre elas estão o surgimento de manchas devido a sua dissolução, gerar bolhas e gerar inclusões (como é o caso do ferro), além de algumas impurezas metálicas que podem fundir e ir para o fundo do forno causando danos estruturais ao equipamento (LEMOS, 2012).

Justamente por conta de todos esses reveses causados pelas impurezas a etapa de beneficiamento tem um caráter obrigatório para todo o caco de vidro que será reciclado, sendo que esse processo pode-se dar de forma manual, semiautomatizada ou automatizada. O beneficiamento manual é um processo artesanal, onde todo o processo é feito sem a utilização de equipamentos ou recursos específicos para tratamento dos cacos de vidro, ele é indicado para materiais que sejam fruto de coleta seletiva e, por isso, tendem a apresentar algum grau de separação; o processo de beneficiamento se dá pela separação por cores (em casos do vidro não estar quebrado) e retirada de impurezas, como ferro, alumínio, entre outros, a produtividade de um funcionário nesse regime de beneficiamento está entre 20 e 25 t/mês (ABIVIDRO, [s. d.]).

Já no beneficiamento semiautomatizado segue um processo mais automatizado, com os seguintes equipamentos: pá-carregadeira, tremonha ou funil de alimentação, moinho de trituração, tambor ou tanque de lavagem, imã permanente e esteira de triagem manual. Por tanto esse processo utiliza de um sistema de alimentação, lavagem, trituração, separação manual de contaminante e estocagem, esse tipo de beneficiamento tem uma capacidade entre 4 e 20 t/h. Por fim, o beneficiamento automatizado segue um processo muito similar ao anterior, porém, com a separação de contaminantes ocorrendo sem nem tipo de contato manual, sendo o processo que gera a maior quantidade de vidro, contudo esse processo leva um custo muito maior de investimento (ABIVIDRO, [s. d.]).

#### 4.6 RECICLAGEM DO VIDRO NO BRASIL

Atualmente, nacionalmente, de acordo com o ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais) em 2019 houve uma geração de resíduo sólido urbano (RSU) de 217 mil toneladas/dia, equivalente a 79 milhões de toneladas, sendo a região Sudeste responsável por quase 50% da geração, com 39 milhões de toneladas. De todo esse resíduo gerado apenas em torno de 59% teve uma disposição final correta, de forma que mais de 29 milhões de toneladas foram

descartados em lixões e aterros controlados. Na figura 3 pode-se observar um gráfico sobre a composição gravimétrica do RSU.

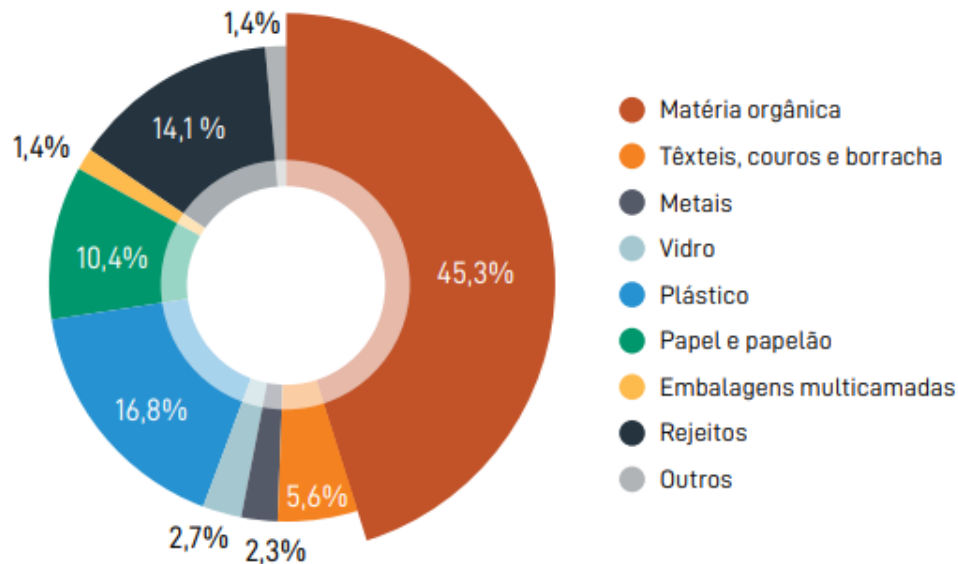


Figura 3 - Composição gravimétrica do RSU (ABRELPE, 2020).

No gráfico é possível notar que os 45,3% dos RSU são compostos por matéria orgânica, enquanto os resíduos secos recicláveis representam em torno de 35%, sendo os vidros uma parcela de apenas 2,7% (ABRELPE, 2020).

Ao tratar-se de RSU é importante também entender como a coleta seletiva se apresenta no país, segundo a ABRELPE (2020) em 2010 dos 5.565 municípios brasileiros 3.152 apresentavam algum tipo de coleta seletiva, ao passo que em 2019 de 5.570 municípios, 4.070 apresentam esse tipo de iniciativa. A região Sul é a que apresenta uma maior cobertura, com 90,9% dos municípios cobertos enquanto a região Centro-oeste apresenta uma cobertura de apenas 48,6%.

Um ator de extrema importância na reciclagem no território brasileiro são as organizações de catadoras e catadores, ao todo são 2.941 registradas em todo o país, com 2.417 ativas e 524 inaptas, distribuídas em 1.633 municípios. Sendo a região Sudeste a com maior número de organizações (1.155 ou 39,3%) com o estado de São Paulo representando 19,2% do total. Dentro dessas organizações estão associados 86.878 catadores, que tem a sua participação tida como fundamental para a reciclagem no país de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) – Lei 12.305/2010, tendo prioridade na sua implementação (ANCAT, 2023).

Ainda segundo o Anuário da Reciclagem 2023, as organizações de catadoras e catadores coletou e destinou um total de 1,77 milhão de toneladas de materiais em território nacional para a reciclagem que corresponde a um faturamento de R\$ 1,63 bilhão. Desse total coletado, os vidros representam 266,03 mil toneladas (15%), contudo, apesar de ser o terceiro material mais coletado, atrás apenas do papel e do plástico, o vidro representou apenas 2,9% do faturamento (R\$ 47,44 milhões), apresentando um valor médio de comercialização de 0,23 Reais/kg. Essas 266,03 mil toneladas recicladas de vidro representam uma economia de aproximadamente 319,2 mil toneladas de areia e 212,8 mil MWh.

Quanto ao destino final das embalagens de vidro descartáveis no Brasil, na figura 4, pode-se verificar que apenas 33% dessas embalagens são destinadas à reciclagem, ou seja, um total de 77% do vidro que poderia ser reciclado está tendo o seu uso desviado, com 11% passando por reuso caseiro, 24% indo para aterros e 32% sendo destinados para o reuso indevido, alimentando a indústria do envase ilegal. Essa grande porcentagem destinada a falsificação de bebidas é justificada pela diferença de preço que as garrafas ditas “*premium*” apresentam em relação ao caco de vidro, já que a tonelada do caco “limpo” é vendida no entorno de R\$ 120,00, enquanto a tonelada dessas garrafas pode ultrapassar R\$ 1.000,00 (ABIVIDRO, 2011).

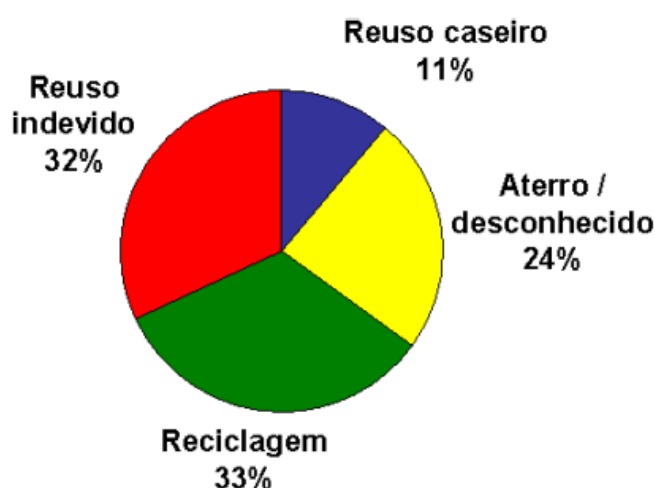


Figura 4 – destino final de embalagens de vidros descartáveis (AKERMAN, 2021).

#### 4.7 LOGÍSTICA REVERSA

A Logística Reversa (LR) é definida como um processo sistemático com um fluxo de produtos do ponto de consumo até o ponto de manufatura, para que eles possam ser reciclados, remanufaturados ou serem descartados adequadamente. Esse conceito surgiu com o objetivo de reduzir a extração e uso de matéria-prima nova, e o descarte exacerbado em aterros sanitários, assim revalorizando o produto. Contudo, para a aplicação da LR são necessárias adaptações nos processos de toda a cadeia, desde os produtores até os consumidores (TORRES; GONÇALVES-DIAS, 2018).

Atualmente a LR apresenta-se como uma interessante estratégia em respeito a negócios sustentáveis e lucrativos, porém existem diversas dificuldades de implementação principalmente em respeito a interação entre os atores da cadeia, instrumentos de controle e comando e as estratégias de inovação tecnológica. Apesar disso as legislações ambientais pelo mundo têm trazido um resultado positivo com cada vez mais fabricantes assumindo a responsabilidade pelo produto pós-consumo, no Brasil, a PNRS prevê em seu artigo 33, que os sistemas de LR devem compreender também produtos comercializados em embalagens plásticas, metálicas ou de vidro de acordo com o grau e extensão do impacto à saúde pública e ao meio ambiente, sendo a responsabilidade distribuída em todos os atores da cadeia e também do poder público (TORRES; GONÇALVES-DIAS, 2018).

Para compreender melhor o processo da cadeia reversa de Brito e Dekker (2002), propuseram uma análise do porquê as coisas retornam, tanto do ponto de vista de quem recebe e de quem retorna; qual é o produto retornado; e como se dá o processo de retorno. Como proposto, existem duas perspectivas a serem analisadas por trás do porquê as coisas retornarem, em relação a de quem recebe, são destacados três principais motivos: o econômico, relacionado com a receita gerada com as atividades de recuperação, a melhora na imagem da empresa e evitar o uso inadequado, falsificações e as tecnologias; o legislativo, que se refere a jurisdições que indiquem a recuperação de produtos; a responsabilidade estendida, um conjunto de valores da organização. Quanto ao ponto de vista de quem retorna, de forma geral algo é retornado ou descartado porque não funciona apropriadamente ou ainda não se faz mais necessário, de forma mais específica, o motivo pode ser separado em três categorias: Manufatura, como, sobras de produção; distribuição, como *recall* de produto; clientes, como defeitos cobertos pela garantia, fim do uso, fim de vida.

Outro ponto a ser analisado é sobre qual é o produto retornado, sendo relevante

definir certas características: a composição do produto, como a sua facilidade de desmontagem, homogeneidade dos elementos, possíveis perigos e facilidade de transporte; os padrões de uso, como o local, a intensidade e duração; e deterioração, que define a funcionalidade do produto. Finalmente temos como se dá o processo de retorno, que se refere em entender como o processo de LR acontece na prática numa análise quanto aos atores e os processos envolvidos nesse fluxo. No sentido dos atores são eles, quem devolve, quem recebe, quem coleta e quem processa. Já de processo, na reciclagem são destacados: a coleta; o processo de inspeção, seleção e triagem; o reprocessamento; e a distribuição (TORRES; GONÇALVES-DIAS, 2018) (BRITO; DEKKER 2002).

## 5 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

### 5.1 PROBLEMAS LOGÍSTICOS

O Brasil é um país com dimensões continentais, apresentando uma superfície de 8,5 milhões de km<sup>2</sup>, sendo o quinto maior do mundo, para se ter uma noção dessa grandeza, o território é 23 vezes maior que o alemão e 15 vezes maior que o francês (IBGE, 2012) (ABIVIDRO, 2018a). Contudo, como anteriormente apresentado, a indústria vidreira no Brasil apresenta uma grande concentração na região litorânea ou próxima dela, e, além disso, também está concentrada na região Sudeste, com alguns instalações no Nordeste e Sul, deixando o Centro-Oeste e Norte completamente descobertos de produção local; essa falta de distribuição da produção de vidro pelo país acaba causando um entrave para a reciclagem de vidros para determinadas regiões, pois pode impor distancias muito grandes a serem percorridas pelos cacos de vidro a depender de onde eles forem coletados. Um exemplo disso é que cacos coletados em Manaus precisam percorrer cerca de 3.300 km até chegar em Recife onde podem ser reciclados, sendo 1.300 km de balsa até Belém e mais 2.000 km de rodovias até chegar em seu destino final, outros exemplos são Cuiabá e Brasília de onde os cacos devem percorrer 1.620 km e 900 km, respectivamente, até que cheguem em São Paulo onde podem ser reciclados (ABIVIDRO, 2018a).

De acordo com CEMPRE, em 2018, dentre os materiais recicláveis o vidro é o que apresenta o menor custo por peso, com a tonelada de caco incolor e de caco misto custando, respectivamente, R\$ 100,00/t e R\$ 80,00/t, enquanto o PET apresenta um custo de R\$ 1.140,00/t e o alumínio R\$ 3.660,00/t. Por conta disso essas longas distâncias a serem percorridas podem se apresentar como um impeditivo para o uso desse caco de vidro como insumo na produção, considerando que o custo para uma tonelada de vidro percorrer 500 km fica em torno de R\$ 125,00, as longas distancias podem facilmente fazer o preço do transporte superar o custo do material (BERNARDO, [s. d.]). Tendo em vista as distâncias continentais apresentadas pelo Brasil e o baixo valor intrínseco do caco de vidro, a implementação de um sistema de LR abrangendo o país com totalidade torna-se completamente inviável. Na figura 5 é apresentado um mapa sobre o consumo de cerveja por região vs a localização de fábricas e beneficiadoras que ilustra essa dificuldade.

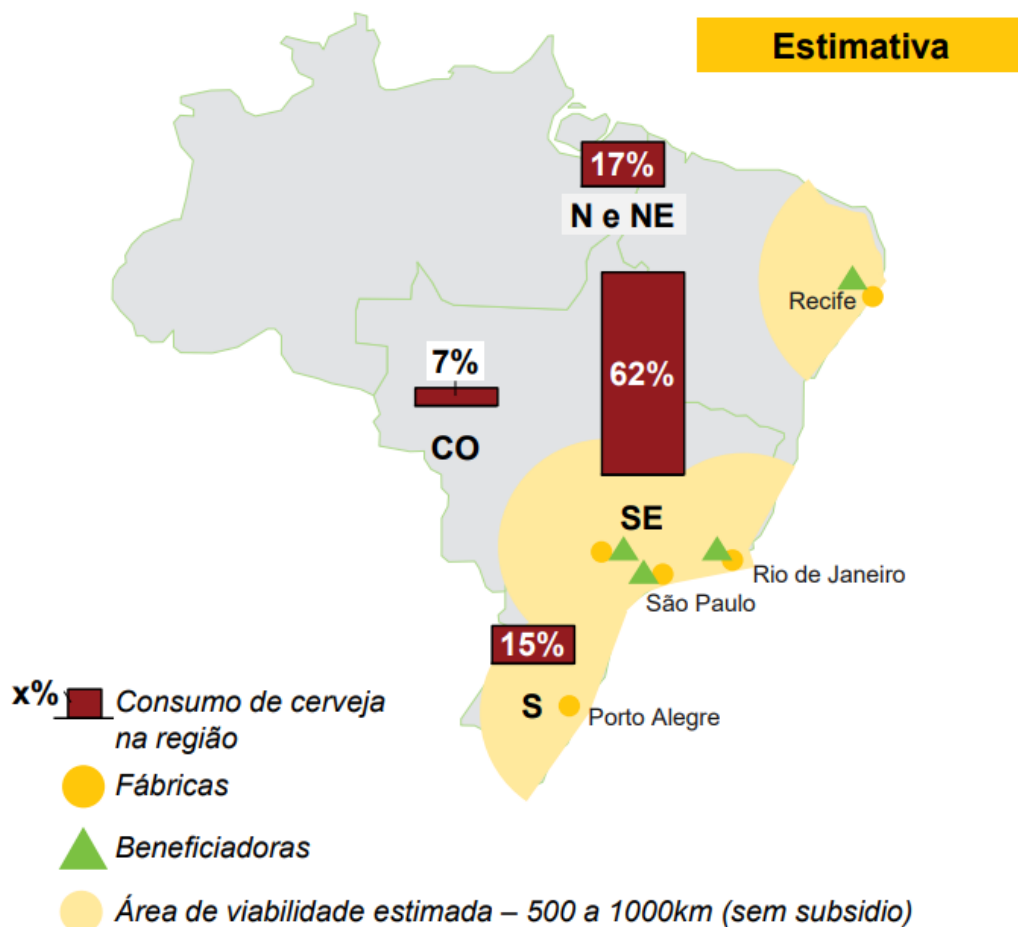


Figura 5 – consumo de cerveja por região vs localização de fábricas e beneficiadoras (ABIVIDRO, 2011).

## 5.2 PROBLEMAS ESTRUTURAIS

Como abordado anteriormente o beneficiamento é uma etapa imprescindível para que o caco de vidro seja corretamente limpo e preparado para a reciclagem, e que essa etapa pode ocorrer de forma manual, semiautomatizado ou automatizado, atualmente no Brasil o beneficiamento se dá majoritariamente da forma manual, o que, além de apresentar uma produtividade mais baixa, tem um fator de falha humana associado, assim deixando passar uma maior quantidade de impurezas que podem trazer prejuízos milionários. Fazendo até mesmo que algumas empresas evitem usar cacos de vidros que não sejam provenientes da própria produção. O investimento em equipamentos, treinamentos e novas instalações para o beneficiamento dos cacos de vidros pode ser necessário como uma forma de mitigar esses problemas relacionados

com a reciclagem (BERNARDO, [s. d.]) (AKERMAN, 2021).

No caso da abertura de novas usinas de beneficiamento, faz-se necessária uma verificação sobre a viabilidade econômica da operação, que é definida por três fatores: volume a ser beneficiado, levando em conta a população local, hábitos regionais e poder aquisitivo para assim poder projetar o volume a ser coletado; distância a ser percorrida, é de extrema importância levar em consideração quais serão as distâncias a serem percorridas entre a usina de beneficiamento e os possíveis compradores; custos operacionais, associados ao custo de coleta e captação do vidro descartado, beneficiamento e transporte (ABIVIDRO, [s. d.]).

### 5.3 REGIÃO SUDESTE

Ao contrário das regiões Norte e Centro-Oeste, que não apresentam indústria vidreira em seu território, o Sudeste apresenta um total de 14 vidrarias, dois terços das vidrarias do país, por conta dessa grande concentração é necessário entender melhor do cenário da região, pois por mais que existam problemas logísticos, o custo final associado ao transporte não será tão limitador quanto o das regiões.

De acordo com a ABRELPE, em 2019 a região Sudeste foi responsável por cerca de 50% da geração de RSU no país ou 39 milhões de toneladas, levando em consideração que de todo esse resíduo gerado na região, em torno de 27% não tem uma destinação correta, que é o equivalente a 10,6 milhões de toneladas, fazendo uma extrapolação levando em consideração a gravimetria dos RSU no Brasil, em torno de 286,2 mil toneladas do material descartado seriam compostas de vidros, demonstrando assim, um grande potencial para a reciclagem de vidros nesse região. Para tentar se aproveitar desse potencial, seriam necessárias formas mais eficientes para a captação para o material.

A fim de aumentar os índices de reciclagem de latas e garrafas, em 2023 a Escócia adotou um sistema de retorno de depósito, em que a cada bebida em embalagem de uso único comprada, (podendo ser latas, garrafas PET ou de vidro) um depósito de 20 centavos de libra é feito. Para que o dinheiro seja devolvido, o comprador deve retornar a embalagem em estabelecimentos equipados com máquinas para isso, balcões de mercados ou ainda em restaurantes que sirvam comida para viagem (IFOOD, 2023).

#### 5.4 PROGRAMAS DE LOGÍSTICA REVERSA

Um possível caminho para aumentar os índices de coleta e de reciclagem é o investimento em programas de incentivo a logística reversa, um exemplo disso foi a empresa Molécoola, criada em 2017 e com as atividades encerradas em setembro de 2023, a empresa atuava na LR de recicláveis pós-consumo. A Molécoola dispunha de lojas container, onde os materiais eram levados e pesados e em troca a pessoa recebia pontos, que ao serem acumulados podiam ser trocados por bens de consumo e serviços, e quando o container chegava em sua capacidade máxima o material coletado era vendido para recicladoras que incorporaram-no novamente na cadeia produtiva. (ABIVIDRO, 2018b) Essa forma de incentivo apresenta uma proposta interessante, pois fornece ao consumidor uma sensação de recompensa, e poderia ser viável em maior escala ao ser adotada por corporações de tamanhos maiores, como empresas do ramo de bebidas ou até mesmo redes de hipermercados.

#### 5.5 OUTRAS UTILIZAÇÕES PARA O CACO DE VIDRO

Além da reciclagem, os cacos de vidro podem ser empregados em outros usos o que se apresenta como uma solução viável para casos mais extremos, onde a reciclagem seja impedida como por exemplo onde os custos de deslocamento sejam tão altos que não compense economicamente.

Uma forma de se utilizar os resíduos de vidro é em formulações cerâmicas, onde eles podem substituir parcialmente o feldspato, conduzindo a uma redução de temperatura de fusão, e, por possuírem um baixo teor de óxidos corantes, promovem uma brancura nas cerâmicas. Outra aplicação para os cacos é sua incorporação em misturas asfálticas, cada vez mais os *filleres* convencionais utilizados nesse tipo de pavimentação têm sido substituídos por resíduos industriais de forma a promover um desenvolvimento sustentável e ainda manter as características físicas, químicas e a estabilidade mecânica (MORAIS, 2022)

Ainda em relação a aplicações mais técnicas, uma outra forma amplamente pesquisada é para a fabricação de concretos, onde o vidro é moído e acrescentado no concreto como um substituto de agregado miúdo, areia, em sua composição (BENATTI; AZAMBUJA, 2016). A aplicação dos cacos de vidro também se mostra possível na fabricação de tijolos onde, durante a queima, ele promove uma vitrificação,

assim reduzindo a temperatura de sinterização e porosidade, enquanto resulta em um aumento significativo na resistência a compressão (CHIDIAC; FEDERICO, 2007).

Além delas, em um estudo realizado na cidade de Campina Grande no estado da Paraíba, visou-se entender o comportamento de composições vítreas submetidas a diferentes temperaturas de queima, assim escolhendo a ideal para a fabricação com o uso de moldes em concreto celular, e posteriormente, capacitar os catadores de uma unidade de beneficiamento de materiais vítreos para a elaboração de vidros artesanais (MORAIS, 2022).

## CONCLUSÃO

Como visto no presente trabalho, a reciclagem de vidros apresenta uma redução significativa de diversos impactos ambientais, como a extração de matéria-prima nova, redução quanto ao consumo energético e a emissão de CO<sub>2</sub>, assim conferindo ao caco de vidro um nível alto quanto a importância e nobreza enquanto matéria-prima na produção vidreira. Contudo, ao que diz respeito ao vidro de embalagens descartáveis apenas 33% do descarte produzido é destinado corretamente para a reciclagem, indicando um potencial muito grande para o crescimento para a utilização do caco de vidro no Brasil.

Todavia, mesmo com esse potencial tão grande, as dimensões continentais do país tornam-se um impeditivo para que a reciclagem chegue em seu potencial máximo, pois as grandes distâncias a serem percorridas trazem um custo muito grande para o transporte dos cacos de vidro, impossibilitando o seu uso. Um possível caminho para a resolução desse problema, seria por meio de uma ampliação do transporte ferroviário pelo território nacional, que ajudaria com a redução nos custos envolvidos no transporte, contudo, é algo muito complicado, uma vez que depende de um elevado investimento e mobilização governamental. Assim, uma alternativa mais viável para esses locais afastados da indústria vidreira, seria utilizando esse material para outras finalidades, como na elaboração de vidros artesanais, onde além de dar um destino para os cacos, contribui para o desenvolvimento social e econômico para as comunidades locais.

Outro problema observado foi quanto ao beneficiamento ineficaz dos cacos de vidro resultando num material com um alto teor de impurezas, o que pode acarretar diversos defeitos nos vidros a serem fabricados, por conta disso alguns fabricantes optam pela não utilização dos cacos de vidros em seus processos, pois, mesmo com as vantagens apresentadas, os prejuízos potenciais causados por cacos de vidros repletos de impurezas podem ser muito grandes. Por isso, faz-se necessário um maior investimento no que diz respeito ao beneficiamento do vidro, com abertura de novas unidades, maior automatização e capacitação dos profissionais envolvidos nas operações.

## REFERÊNCIAS

- ABIVIDRO – Associação Brasileira das Indústrias de Vidro, **Panorama da reciclagem de vidro no Brasil**. Set. 2018. 26 slides.
- ABIVIDRO – Associação Brasileira das Indústrias de Vidro, **Proposta da ABIVIDRO para modelo nacional de reciclagem**. Mai. 2011. 47 slides.
- ABIVIDRO – Associação Brasileira das Indústrias de Vidro, **Reciclagem do vidro 100% puro 100% reciclável**. ABIVIDRO, [s. d.]
- ABRAVIDRO – Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidros Planos, **Panorama ABRAVIDRO 2023**. ABRAVIDRO, 12. ed. [s. l.], 2023.
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020**. ABRELPE, São Paulo, 2020.
- AKERMAN, M. **Industria do Vidro**: Relatório final. Ribeirão Preto, 2014.
- AKERMAN, M. Introdução ao vidro e sua produção. São Paulo: ABIVIDRO - Escola do Vidro, p. 1-53, 2013
- AKERMAN, M. **Reciclagem**. Out. 2021. 45 slides.
- AKERMAN, Mauro. Informações indústria vidreira Brasil. Mensagem recebida por: <angelo.bacchi@estudante.ufscar.br> em 13 dez. 2023.
- ALVES, O. L.; GIMENEZ, I. de F.; MAZALI, I. O. Vidros. **Cadernos temáticos: Química nova na escola**, [s. l.], 2001.
- ANCAT – Associação Nacional de Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis, **Anuário da reciclagem 2023**. [s. l.]: ANCAT, 2023.
- BENATTI, L. B.; AZAMBUJA, M. dos A. Reciclagem de vidro como alternativa para concreto. **Revista nacional de gerenciamento de cidades**, [s. l.], v. 4, n. 26, p. 16-27, 2016.
- BERENJIAN, A.; WHITTLESTON, G. History and Manufacturing of Glass. **American Journal of Materials Science**, [s. l.], p. 18-24, 2017.
- BERNARDO, F. **II workshop universidade - indústria em materiais vítreos: A reciclagem de vidros**. São Carlos, [s. d.]. 37 slides.
- BRITO, M. P. de; DEKKER, R. Reverse logistics: a framework. **Econometric Institute Report EI**, v. 38, 2002.

CHIDIAC, S. E.; FEDERICO, L. M. Effects of waste glass additions on the properties and durability of fired clay brick. **Canadian Journal of Civil Engineering**, Canadá, v. 34, p. 1458-1466, 2007.

COMO O vidro é reciclado?. **ABIVIDRO**, 4 nov. 2020. Disponível em: <<https://abividro.org.br/2020/11/04/como-o-vidro-e-reciclado/>>. Acesso em: 19/01/2024.

da ROSA, S. E. S.; COSENZA, J. P.; BARROSO, D. V. Considerações sobre a indústria do vidro no Brasil. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 26, p. 101-138, set. 2007

ESCÓCIA adota incentivo financeiro à reciclagem em 2023. **IFOOD**, 4 jan. 2023. Disponível em: <>. Acesso em 21/01/2024.

IBGE apresenta nova área territorial brasileira. [s. l.]: IBGE, 27 nov. 2012. Disponível em: <[https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/14318-asi-ibge-apresenta-nova-area-territorial-brasileira-8515767049-km#:~:text=O%20Brasil%20tem%20uma%20nova,%2C01%25%20sobre...\)%20\(BRASIL%20ESCOLA%20https://brasilecola.uol.com.br/geografia/maiores-paises-planeta.htm](https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/14318-asi-ibge-apresenta-nova-area-territorial-brasileira-8515767049-km#:~:text=O%20Brasil%20tem%20uma%20nova,%2C01%25%20sobre...)%20(BRASIL%20ESCOLA%20https://brasilecola.uol.com.br/geografia/maiores-paises-planeta.htm)>. Acesso em: 19 jan. 2024.

KELLER, D. Social and economic aspects of glass recycling. **Theoretical Roman Archeology Conference**, Durham, p. 65-78, 2004.

LEMOS, E. Diagnóstico da cadeia de reciclagem de embalagem de vidro em Santa Catarina. Orientador: Israel Fernandes de Aquino. 2012. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

MOLÉCOOLA transforma recicláveis em benefícios ao consumidor. **ABIVIDRO**, 2018. Disponível em: <<https://abividro.org.br/2018/10/15/molecoola-transforma-reciclaveis-em-beneficios-ao-consumidor/>>. Acesso em: 21/01/2024.

MORAIS, C. R. da S. (org.). Reaproveitamento e reciclagem de vidros: Experiências em pesquisa. Campina Grande: EDUFPG, 2022. 246 p.

NAVARRO, J. M. F. El Vidrio. 3. ed. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2003. 720 p. ISBN 84-00-08158-7.

SCHMITZ, A. et al. Energy consumption and CO2 emissions of the European glass industry. *Energy Policy*, [s. l.], v. 39, p. 142-155, 2010.

SHREVE, R. N.; BRINK JR, J. A. Indústrias de processos químicos. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1997.

TORRES, A. F. R.; GONÇALVES-DIAS, S. L. F. Entendendo a estrutura da cadeia reversa das garrafas de vidro em São Paulo. International Workshop Advances in Cleaner Production, Barranquilla, jun. 2018.

ZACHARIASEN, W. H. THE ATOMIC ARRANGEMENT IN GLASS. *Journal of the American Chemical Society*, Chicago, v. 54, p. 3841-3851, 5 out. 1932

ZANOTTO, E. D.; MAURO, J. C. The glassy state of matter: Its definition and ultimate fate. *Journal of Non-Crystalline Solids*, [s. l.], v. 471, p. 490-495, 2017.