

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

Felipe Santos Michel

Avaliação dos impactos do ecossistema de vidro na cadeia de produção de  
bebidas

São Carlos  
2023

Felipe Santos Michel

Avaliação dos impactos do ecossistema de vidro na cadeia de produção de  
bebidas

Monografia apresentada ao Curso de  
Engenharia Ambiental, da Escola de  
Engenharia de São Carlos da Universidade de  
São Paulo, como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Engenheiro Ambiental.  
Orientadora: Prof. Dr. Janaína Mascarenhas  
Co orientadora: Camila Gonçalves Castro

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos

2023

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

S237a Santos Michel, Felipe  
Avaliação dos impactos do ecossistema de vidro na cadeia de produção de bebidas / Felipe Santos Michel; orientadora Janaina Mascarenhas Hornos da Costa; coorientadora Camila Gonçalves Castro. São Carlos, 2023.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2023.

1. vidro. 2. embalagem. 3. garrafa. 4. casco. 5. ciclo de vida. I. Título.

## FOLHA DE AVALIAÇÃO OU APROVAÇÃO

## FOLHA DE JULGAMENTO

---

Candidato(a): **Felipe Santos Michel**

Data da Defesa: 10/11/2023

Comissão Julgadora:

Resultado:

**Janaina Mascarenhas Hornos da Costa (Orientador(a))**

Aprovado

**Camila Gonçalves Castro**

Aprovado

**Lucas Gabriel Zanon**

Aprovado



**Prof. Dr. Marcelo Zaiat**

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

## **AGRADECIMENTOS**

Do presente trabalho, agradeço principalmente aos meus pais que sempre me deram amor e condição para que pudesse seguir em frente durante a graduação. Foram responsáveis pelo incentivo necessário em períodos difíceis e por sentirem orgulho das conquistas que fui adquirindo com o tempo, sem eles nada disso seria possível.

À minha noiva, Carolina, por estar presente em minha vida desde o período do ensino médio, sendo minha companhia durante toda a graduação, e me ensinando todos os dias como ser uma pessoa melhor. Ela é responsável por ter me ensinado a como correr atrás dos meus sonhos e fazer com que acreditasse mais em mim, me fazendo muito feliz a cada dia juntos.

A todos os meus amigos que fiz na graduação e na vida, que alegram os finais de semana e que sempre me ensinam o sentido da lealdade e companhia. Foram responsáveis por me fazerem mais feliz e motivado e fazer com que sentisse que sempre haveria alguém com quem compartilhar os bons momentos.

A todos os professores da engenharia ambiental que sempre demonstraram o sentido de desenvolvimento pessoal e profissional, pelo comprometimento da forma de ensino para me fazer o profissional que sou hoje e perceber que estou seguindo o caminho certo dentro do mercado de trabalho. Foram responsáveis por sempre me incentivar a buscar a excelência nas atividades que desenvolvia para conseguir alcançar todos os objetivos em minha vida.

E por fim, à minha orientadora, Camila, e à professora doutora, Janaína, pela presença e suporte durante a realização deste trabalho, entendendo as minhas necessidades e limitações e sempre pensando em como agregar ainda mais valor durante a pesquisa.

## RESUMO

MICHEL, F. S. **Título:** Avaliação dos impactos do ecossistema de vidro. 2023. 38 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023.

Este estudo utilizou uma revisão bibliográfica de artigos que utilizaram a avaliação do ciclo de vida para compreender os impactos ambientais gerados nas principais etapas da produção das garrafas de vidro na indústria de bebidas. Por meio da revisão bibliográfica sistemática, foram definidas palavras-chave para a seleção de 43 artigos que embasaram o estudo. Assim, os principais impactos mencionados pelos autores foram sintetizados e comparados, logo foi realizado o cruzamento destas informações para se ter o melhor entendimento sobre eles em cada uma das etapas do ciclo de vida das embalagens de vidro, além de avaliar as contribuições de diferentes estratégias circulares para o fim de vida dos produtos. A adoção de práticas circulares deve ganhar cada vez mais destaque entre os consumidores e produtores. Práticas como a conscientização da população, implementação de leis que visam a reciclagem, repensar as características da garrafa e otimização dos meios de transporte, quando somadas, podem gerar a redução significativa dos impactos. O conhecimento de todas as etapas do ciclo de vida da produção da garrafa de vidro é crucial para enfrentar os desafios atuais e garantir um futuro mais sustentável. Dessa forma, os resultados encontrados no trabalho demonstram os principais impactos para cada etapa da produção das garrafas de vidro e evidenciam possíveis ações circulares que podem ser tomadas para mitigá-los.

Palavras-chave: vidro. embalagem. garrafa. casco. ciclo de vida.

## ABSTRACT

MICHEL, F. S. **Title:** Assessment of glass ecosystem impacts. 2023. 38 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023.

This study used a bibliographical review of articles that used life cycle assessment to understand the environmental impacts generated in the main stages of glass bottle production in the beverage industry. Through a systematic bibliographic review, keywords were defined for the selection of 43 articles that supported the study. Thus, the main impacts mentioned by the authors were summarized and compared, and this information was then cross-referenced to have a better understanding of them in each of the stages of the life cycle of glass packaging, in addition to evaluating the contributions of different strategies. circulars for the end of product life. The adoption of circular practices should gain increasing prominence among consumers and producers. Practices such as raising public awareness, implementing laws aimed at recycling, rethinking bottle characteristics and optimizing means of transport, when combined, can generate a significant reduction in impacts. Knowledge of all stages of the glass bottle production life cycle is crucial to face current challenges and ensure a more sustainable future. Thus, the results found in the work demonstrate the main impacts for each stage of glass bottle production and highlight possible circular actions that can be taken to mitigate them.

Keywords: glass. packaging. bottle. cullet. life cycle.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Quantidade de resíduos gerados por toneladas .....	3
Figura 2: Fluxograma de seleção dos artigos .....	9
Figura 3: Nível de relevância dos aspectos da reciclagem e reuso.....	24



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de atividades econômicas pela quantidade de empresas na indústria de bebidas.....	3
Tabela 2: Frequência de menções em relação aos impactos identificados.....	13
Tabela 3: Quantidade de menções por pontos críticos do ciclo de vida.....	14
Tabela 4: Total de emissões no engarrafamento por produto.....	16
Tabela 5: Quantidade de emissões por etapa do ciclo de vida .....	17

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ACV	–	Avaliação do ciclo de vida
GEE	–	Gases de Efeito Estufa
IBGE	–	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PDO	–	País de Origem
PIA	–	Pesquisa Industrial Anual
PLANARES	–	Pesquisa Nacional de Resíduos Sólidos
UF	–	Unidade Funcional

## LISTA DE SÍMBOLOS

$m^3$	–	Metros cúbicos
$CO_2$	–	Dióxido de carbono
$g\ CO_2\ eq./l$	–	Gramas de dióxido de carbono equivalente por litro
$kg$	–	Quilogramas
$kg\ CO_2\ eq./l$	–	Quilogramas de dióxido de carbono equivalente por litro
$km$	–	Quilômetro
$kWh$	–	Quilowatt-hora

## SUMÁRIO

FOLHA DE AVALIAÇÃO OU APROVAÇÃO .....	IV
AGRADECIMENTOS .....	V
RESUMO .....	VI
ABSTRACT .....	VII
LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....	VIII
LISTA DE TABELAS .....	IX
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	X
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Objetivos gerais e específicos .....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Economia circular .....	5
2.2. Avaliação do ciclo de vida.....	5
2.3. O ciclo de vida da produção das garrafas de vidro na indústria de bebidas .....	6
2.4. As estratégias circulares mais utilizadas por estas indústrias .....	7
3. METODOLOGIA .....	9
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	12
4.1. Impactos ambientais .....	12
4.2. Impactos do ciclo de vida da produção das garrafas de vidro .....	13
4.2.1. Produção das garrafas de vidro.....	14
4.2.2. Engarrafamento .....	16
4.2.3. Uso de combustível e energia.....	17
4.2.4. Distribuição e transporte.....	18
4.2.5. Uso e descarte.....	19
4.3. Comparativo entre reciclagem e reuso.....	21
4.3.1. Reciclagem .....	21
4.3.2. Reuso .....	22
5. CONCLUSÃO .....	25
REFERÊNCIAS .....	27

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Contextualização

O cenário nacional da produção e descarte de embalagens no Brasil é um tema que vem ganhando destaque ao longo dos anos. Com o aumento populacional, a indústria de alimentos e bebidas testemunhou um aumento significativo na produção, com a intenção de acompanhar a demanda dos bens de consumo no país. Porém, tal aumento foi responsável por uma série de impactos negativos, principalmente ao meio ambiente, economia e a sociedade. Esta situação requer uma abordagem abrangente para que seja possível equilibrar as necessidades de todos, com o intuito de alcançar um desenvolvimento sustentável para o setor.

Segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2022), a indústria de produtos alimentares e bebidas juntamente a outros setores relevantes da economia, são responsáveis pela grande quantidade de resíduos gerados no Brasil. De acordo com a Figura 1 do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2022), esta indústria apresentou no ano de 2016 a segunda maior produção de resíduos em m<sup>3</sup> e por unidade, e em terceiro lugar para toneladas.

Dessa forma, a geração de resíduos não deve ser negligenciada, pois uma vez que ocorra a má gestão dos órgãos públicos, diversos problemas serão evidenciados, por exemplo os impactos ambientais relacionados a poluição dos solos e das águas (superficiais e subterrâneas), além da proliferação de doenças e vetores à população. Assim, para que tais problemas possam ser evitados, é crucial entender quais etapas estão envolvidas desde a produção, até o descarte final do produto. Portanto, a crescente consciência ambiental e a busca por formas de operação mais sustentáveis enfatizaram a importância da avaliação do impacto ambiental para diferentes tipos de produtos e atividades econômicas.

Entretanto, os impactos ambientais gerados pela produção de resíduos não é o único fator preocupante quando todo o ciclo de vida do produto é analisado. No Brasil, o mercado de bebidas é crucial para as atividades econômicas, visto que segundo a Pesquisa Industrial Anual (PIA) realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a produção de cerveja é o 14º produto em receita líquida no país (Pesquisa Industrial Anual, 2021), representando aproximadamente 2,19% do total de 5.009.870.821 bilhões de reais (R\$) para todos os setores. Dessa forma, totalizando 109.837.765 milhões de reais ao ano, o mercado de bebidas representa uma parte significativa para a receita nacional. Porém, um ponto de atenção quanto a este mercado se deve ao número muito reduzido de indústrias presentes para a confecção das embalagens de vidro, destacando a falta de outras opções alternativas

relacionadas ao material. Na Tabela 1, é possível visualizar detalhadamente as indústrias presentes no mercado de bebidas, o número de unidades locais e a receita anual gerada.

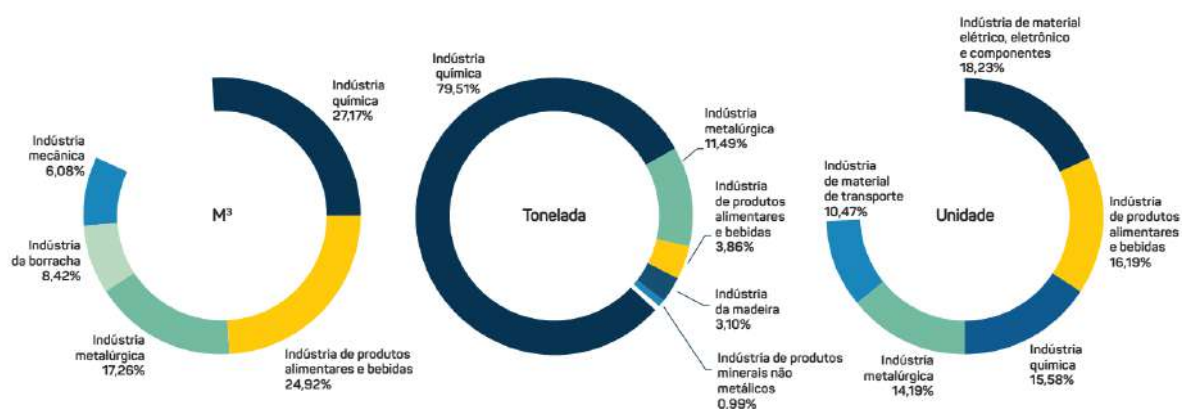
Para a produção das principais bebidas consumidas no país, a análise inicial que deve ser feita está relacionada à embalagem em que serão distribuídas, uma vez que influenciará as escolhas durante as etapas do ciclo de vida. Sendo uma escolha comum entre os produtores, a embalagem de vidro tem sido alvo de extensas pesquisas devido à sua importância na produção de vinhos, cervejas, refrigerantes e muitos outros produtos. O vidro, um material amplamente utilizado, oferece vantagens significativas em termos de reciclabilidade, reutilização e minimização de resíduos, importantes para uma economia circular.

A economia circular desempenha um papel crucial nos esforços para aumentar a sustentabilidade da indústria de bebidas, tendo em vista o maior aproveitamento possível das embalagens utilizadas. A implementação das estratégias circulares, como a reciclagem e reutilização das embalagens, são passos importantes para minimizar o impacto ambiental da produção e do consumo crescente de bebidas no país.

A principal ferramenta utilizada para apoiar o estudo foi a avaliação do ciclo de vida (ACV). A partir de uma visão abrangente de todo o funcionamento, além dos impactos gerados em diferentes etapas, a ACV permite a quantificação durante o ciclo de vida da fabricação das garrafas de vidro, desde a produção até o descarte. Dessa forma, o foco do estudo refere-se aos impactos gerados durante o ciclo de vida de produtos que tem como base a embalagem de vidro, examinando as complexidades da fabricação, utilização e eliminação de garrafas de vidro na indústria de bebidas. O objetivo é fornecer uma visão abrangente dos impactos ambientais associados a este material e avaliar as estratégias circulares mais utilizadas pela indústria para reduzir o seu impacto ambiental.

Figura 1: Quantidade de resíduos gerados por toneladas

Categoria	Resíduos gerados							
	2013		2014		2015		2016	
	Quantidade	%	Quantidade	%	Quantidade	%	Quantidade	%
Toneladas								
Indústria de produtos alimentares e bebidas	823.806.540,63	56,85	238.386.890,67	14,9	81.004.294	17,72	49.265.552	3,86
<b>Total</b>	<b>1.448.998.929,30</b>	<b>100</b>	<b>1.600.226.578,60</b>	<b>100</b>	<b>457.244.493,70</b>	<b>100</b>	<b>1.276.199.686,43</b>	<b>100</b>



Fonte: Plano Nacional de Resíduos Sólidos, 2022

Tabela 1: Tipos de atividades econômicas pela quantidade de empresas na indústria de bebidas

Divisões, grupos e classes de atividades	Número de unidades locais	Receita anual gerada
Fabricação de bebidas (Total)	922	R\$ 109.837.765,00
Fabricação de bebidas alcoólicas	306	R\$ 62.793.451,00
Fabricação de aguardentes e outras bebidas destiladas	69	R\$ 3.598.083,00
Fabricação de vinho	82	R\$ 4.055.710,00
Fabricação de malte, cervejas e chopes	155	R\$ 55.139.658,00
Fabricação de bebidas não alcoólicas	616	R\$ 47.044.314,00
Fabricação de águas envasadas	250	R\$ 3.172.747,00
Fabricação de refrigerantes e de outras bebidas não alcoólicas	366	R\$ 43.871.567,00
Fabricação de embalagens de vidro	12	R\$ 6.487.467,00

Fonte: IBGE – PIA, 2021

## **1.2. Objetivos gerais e específicos**

Este trabalho tem o objetivo geral de comparar diferentes estratégias circulares para as embalagens de vidro dentro do setor de bebidas, utilizando estudos sobre a metodologia da ACV publicados sobre o setor.

Para auxiliar no estudo, os objetivos específicos foram:

- Identificar os principais impactos ambientais nas diferentes fases do ciclo de vida das embalagens de vidro do produto;
- Entender quais são as fases do ciclo de vida das embalagens de vidro do produto que causam os maiores impactos;
- Identificar os principais fatores que influenciam nos impactos;
- Levantar as principais vantagens e desvantagens das estratégias circulares utilizadas.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Economia circular

A economia de produção linear e a economia circular representam duas abordagens completamente opostas em relação à gestão de recursos e ao funcionamento dos sistemas econômicos. Embora a economia linear tenha sido predominante durante a história industrial, sendo caracterizada pela extração, produção, consumo e eventual eliminação de recursos naturais, a economia circular está ganhando destaque como uma alternativa sustentável e inovadora. A principal diferença entre estes dois modelos econômicos diz respeito à forma como os recursos são utilizados, geridos e reintegrados ao sistema de produção. Enquanto na economia linear existe a tendência do esgotamento de recursos naturais, geração de resíduos e grande contribuição para a degradação ambiental, a economia circular procura reduzir o desperdício, prolongar a vida útil dos produtos e reintegrar materiais reciclados e renováveis na cadeia produtiva, promovendo assim uma economia mais sustentável em relação aos recursos naturais e ao meio ambiente. Segundo a Fundação Ellen MacArthur, a economia circular pode ser definida como *“Um sistema industrial que é restaurativo ou regenerativo por intenção e design”* (Ellen MacArthur Foundation, 2012 p.:7). Portanto, o texto destaca a importância de algumas estratégias circulares que devem ser englobadas para uma possível implementação por parte das empresas. Dentre elas destaca-se a eliminação dos resíduos gerados no processo, levando em conta a desmontagem pós uso e reutilização do produto. Além disso, há a troca de componentes consumíveis por duráveis, para serem devolvidos de forma segura à biosfera. Outro fator é a implementação efetiva do uso de energias renováveis para diminuição da dependência de recursos fósseis e aumento da resiliência do sistema. E por fim, ao garantir a existência de produtos duráveis, será possível a substituição do conceito de consumidor para utilizador, ou seja, incentivar o uso de produtos duráveis alugados ou de uso compartilhado.

### 2.2. Avaliação do ciclo de vida

Segundo Abejón (2020), a ACV pode ser definida como: *“A análise do impacto ambiental gerado ao longo do ciclo de vida dos sistemas de gestão, oferecendo resultados tanto na utilização de recursos como nas emissões para o meio ambiente.”* (Abejón, 2020 p.:3). Além disso, como descrevem Amienyo et al. (2016), a ACV é a principal ferramenta para avaliar o impacto ambiental de um produto ou processo em todas as fases do seu ciclo de vida.

Em relação às bebidas, há um grande predomínio do uso de vidro como opção de embalagem devido ao seu bom custo-benefício, assim desempenha um papel importante na

indústria, logo segundo Boutros et al. (2021) ao compararem os impactos ambientais de diferentes embalagem para bebidas carbonatadas, os autores enfatizaram a importância da ACV na tomada de decisões sustentáveis, uma vez que para cada tipo de embalagem há diferentes impactos ambientais atrelados. Segundo os artigos de Amienyo et al. (2016) e Boutros et al. (2021) a participação das embalagens de vidro de cerveja no impacto ambiental total do produto foi de aproximadamente 20%, enquanto a participação das embalagens de vidro de bebidas carbonatadas foi de aproximadamente 30%. Já em relação aos artigos de Neto et al. (2013) e Eriksson et al. (2016), as pesquisas revelaram, respectivamente, que para o vinho português, as embalagens representaram aproximadamente 40%. No caso do whisky sueco, representaram cerca de 20%. Dessa forma, dependendo do contexto da produção, existem diferentes motivos para que os impactos ambientais sejam maiores ou menores, ou seja, ao ter o conhecimento de todas as etapas que envolvem o ciclo de vida da produção das garrafas de vidro é possível compreender quais ações efetivas podem ser tomadas.

Portanto, a ACV é uma ferramenta que deve ser utilizada de forma a complementar os objetivos esperados de uma economia circular, visando alcançar a sustentabilidade dos produtos e processos industriais.

### **2.3. O ciclo de vida da produção das garrafas de vidro na indústria de bebidas**

A produção de bebidas em garrafas de vidro é um processo complexo que envolve múltiplas etapas ao longo do ciclo de vida. Desde a seleção dos ingredientes e receitas das bebidas até a disposição final dos resíduos gerados, cada etapa desempenha um papel vital na qualidade e segurança dos líquidos embalados. Neste contexto, segundo Amienyo (2013), as principais etapas que englobam o ciclo de vida em garrafas de vidro para produção de bebidas são: produção das embalagens, transporte e disposição final dos resíduos. Dessa forma, adquirir maior conhecimento em relação às fases do ciclo de vida deste processo, é fundamental não só para garantir a qualidade do produto, mas para também ter em vista todos os aspectos que podem interferir nos impactos ambientais gerados em cada etapa, logo sendo possível avaliar os impactos ambientais relacionados ao processo.

Quanto ao detalhamento para cada etapa, primeiramente temos a etapa da fabricação das garrafas de vidro, sendo necessário o uso de areia de sílica e calcário, logo assim como reforçam Amienyo et al. (2016) ao demonstrarem que a produção de matérias-primas como o vidro é um ponto crítico que afeta significativamente o impacto ambiental geral. Além disso, o transporte e a gestão de resíduos, especialmente em relação às embalagens de vidro, desempenham um papel importante no impacto do ciclo de vida da produção das garrafas de vidro na indústria de

bebidas. Por fim, a geração de resíduos sólidos, devido a fatores como a falta de conscientização da população quando aos problemas envolvendo a saúde pública e ambiental e desconhecimento ou desinteresse por parte de produtores para a implementação de uma economia circular.

Ao realizar o mapeamento eficiente de todos esses critério, os produtores da indústria de bebidas podem identificar oportunidades para reduzir os impactos ambientais, otimizar o uso de recursos com a implementação de estratégias circulares como a reciclagem e reuso, e adotar práticas mais sustentáveis a fim de atender o crescimento ambientalmente correto. De acordo com Boutros et al. (2021), Simon et al. (2016) e Vázquez-Rowe et al. (2017), tais autores destacam a existência de estratégias específicas para mitigar os efeitos causados em diferentes etapas do ciclo de vida, dentre elas podem ser citadas o aumento do conteúdo reciclado, redução do peso das embalagens de vidro, uso de energias renováveis para alterar a matriz energética do processo e padronização das embalagens de vidro de reuso.

#### **2.4. As estratégias circulares mais utilizadas por estas indústrias**

Nos últimos anos, a indústria de bebidas passou por diversas mudanças, adotando entre elas, estratégias circulares eficazes para minimizar o impacto ambiental ao longo de todo o ciclo de produção. Atualmente, as estratégias mais utilizadas são a reciclagem e a reutilização de materiais de embalagem, devido ao fato de garantirem resultados promissores. Porém, por mais que sejam amplamente utilizadas, ainda assim existem outras opções que devem ser levadas em consideração. Assim, segundo a pesquisa realizada por Sanches et al. (2022), por mais que as estratégias circulares sejam melhores que o modelo de produção linear, ainda assim é possível desenvolver, o que a autora denomina, de estratégias circulares sustentáveis, usando como base as principais ideias da sustentabilidade e englobando o bem-estar social, qualidade ambiental e prosperidade econômica.

As estratégias da pesquisa foram divididas entre 9 categorias, sendo elas: Produtos e Materiais, Produção e Operações, Digitalização, Logística e Transporte, Redes de Stakeholders, Gestão Ambiental, Modelo de Negócio, Conformidade Ambiental e Responsabilidade Social. Para este estudo relacionado às embalagens de vidro, as estratégias das categorias “Produtos e Materiais” são as mais relevantes, uma vez que expandem as opções relacionadas à reciclagem e reutilização.

Em relação à primeira categoria, as estratégias dos R’s são as mais conhecidas (reciclar, reutilizar e reduzir), e essenciais para alcançar produtos sustentáveis. Entretanto, não deveriam estar limitadas apenas a estes fatores, uma vez que com a maior divulgação entre os produtores

das novas opções, seria possível alcançar resultados ambientais ainda mais promissores. As estratégias são: Projetando produtos ambientalmente seguros, Projetando produtos para durabilidade, Projetando produtos para capacidade de atualização, Eliminação de substâncias perigosas e tóxicas, Usando materiais de base biológica, Oferecer ou usar embalagens verdes, Oferecendo personalização e sob encomenda, Reduzindo o consumo de materiais, Reutilizando produtos e materiais, Reparação e manutenção de produtos, Recondicionamento ou remanufatura de produtos e Reciclagem de produtos e materiais.

Segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2022 p.:29), *“A PNRS define reciclagem como o processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos.”*. Dessa forma, Amienyo et al. (2016) e Gierling et al. (2021) fornecem uma visão geral de como a reciclagem da garrafa de vidro é uma estratégia eficaz. Amienyo et al. (2016) sugerem que para cada aumento de 10% na quantidade de vidro reciclado, a emissão de GEE é reduzida em cerca de 3%, o que economiza um total de 24 gramas de dióxido de carbono equivalente por litro (CO<sub>2</sub> eq./l), para a produção de cerveja, enquanto Gierling et al. (2021) enfatizaram que a utilização de garrafas de vidro mais leves juntamente a uma elevada quota de material reciclado pode reduzir consideravelmente as emissões de GEE.

Segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2022, p.:28), a reutilização é definida como: *“O aproveitamento do resíduo sem que ocorra uma transformação biológica, física ou físico-química.”*. Ainda segundo o documento, a prática da reutilização para as empresas depende de alguns aspectos importantes para que ela seja viável. Primeiramente, as embalagens devem retornar com as mesmas condições de uso para o sistema, sendo possível apenas caso haja o comprometimento por parte da população juntamente a existência de infraestrutura e capacidade logística. Além disso, mesmo que as embalagens sejam pensadas para que seus usos futuros sejam possíveis, ainda há uma forte ligação de costumes relacionados ao consumo, uma vez que o descarte está diretamente relacionado à desvalorização dos produtos de uso único. Porém, é necessário direcionar campanhas de conscientização e educação ambiental para os consumidores, com o intuito de incentivar práticas de devolução do material e até mesmo para que seja utilizado novamente para outros fins.

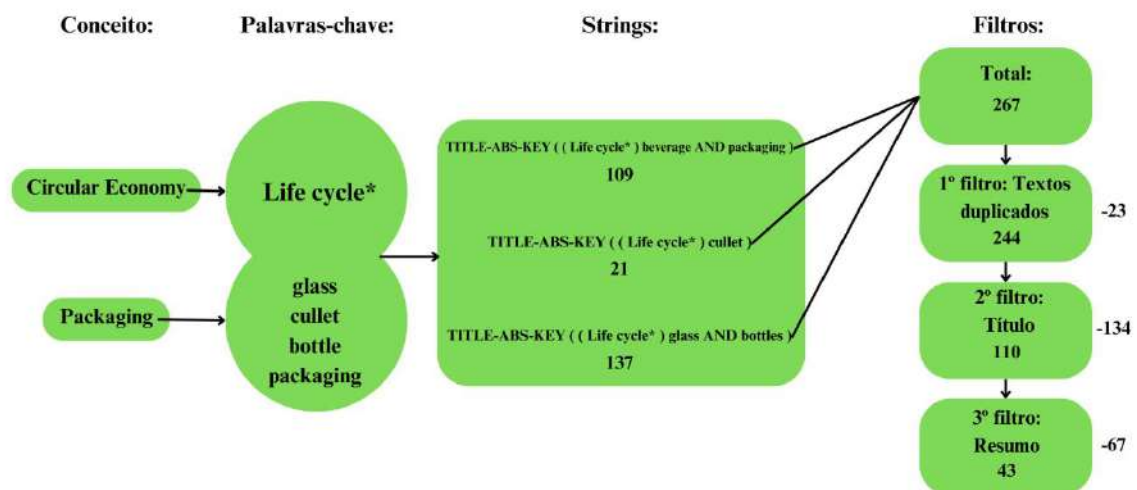
### 3. METODOLOGIA

Uma revisão bibliográfica sistemática foi realizada a fim de alcançar os resultados propostos no presente estudo sobre a avaliação dos impactos do ecossistema de vidro. A estrutura da revisão foi baseada em 5 etapas, propostas pelos autores Briner e Denyer (2012), sendo elas: (1) Planejando a revisão; (2) Localizando os estudos; (3) Avaliando contribuições; (4) Analisando e sintetizando informações; (5) Relatar a “melhor evidência”. (Briner, R.B., Denyer, D., 2012).

Planejando a revisão. Para a revisão, duas perguntas principais guiaram o estudo: (1) “Quais são as fases do ciclo de vida da produção das garrafas de vidro que causam os maiores impactos” e (2) “Quais foram os principais fatores que influenciam nos impactos?”.

Localizando os estudos: Três testes preliminares para busca de artigos foram realizados utilizando diferentes *strings* de palavras-chave. Os artigos que não foram utilizados durante a revisão foram descartados seguindo os critérios de exclusão propostos em cada filtro. A formulação final da *string* de busca incluiu as palavras-chave “vidro”, “embalagem”, “casco”, “garrafa”, “ciclo de vida” e seus sinônimos. Os artigos científicos utilizados foram selecionados na base de dados Scopus, resultando em um total de 267 artigos encontrados pela pesquisa com as 3 principais *strings* presentes na Figura 2.

Figura 2: Fluxograma de seleção dos artigos



Fonte: Autoria própria (2023)

Avaliando contribuições: Dos 267 artigos encontrados, alguns critérios de exclusão foram selecionados a fim de alcançar resultados de melhor qualidade. O primeiro filtro utilizado foi o de remoção de textos duplicados, uma vez que para cada busca das *strings* retornaram alguns artigos iguais que foram selecionados apenas uma vez, resultando em 244 textos e 23 excluídos. O segundo está relacionado a leitura do título do artigo para a seleção de textos que abordaram de alguma forma a indústria de bebidas e embalagens de vidro. Os títulos que citavam apenas um tipo de material foram removidos, como o alumínio e caixas cartonadas. Os títulos com informações genéricas sobre a avaliação do ciclo de vida não foram removidos. Além disso, com a utilização das palavras-chave houve menções referentes a outros setores da economia que também utilizam do vidro como material, por exemplo o eletrônico e farmacêutico, que foram removidos. Por fim, alguns setores da indústria de bebidas foram pré-selecionados a fim de facilitar o processo de revisão bibliográfica, ou seja, foram selecionados textos que retratavam as etapas do ciclo de vida da produção de cervejas, vinhos e bebidas carbonatadas, enquanto os setores da produção de leites e azeites não foram selecionados, resultando em 110 textos e 134 excluídos. O terceiro está relacionado a leitura do resumo do artigo para a seleção de textos que continham resultados sobre os impactos do ciclo de vida da produção das garrafas de vidro, visto que foram analisados os textos que citavam de forma genérica o ciclo de vida dos materiais utilizados na indústria de bebidas, logo no resumo era detalhado o material utilizado, e para os casos em que o vidro não era citado, tais textos foram removidos. Além disso, em alguns textos foram detalhadas as etapas do ciclo de vida dos setores pré-selecionados (cervejas, vinhos e bebidas carbonatadas), porém não foram incluídos os impactos gerados relacionados ao vidro, logo foram removidos, resultando em 43 textos e 67 excluídos. Foi realizada a leitura completa dos 43 artigos para a elaboração dos resultados encontrados neste estudo.

Analisando e sintetizando informações: A análise dos textos foi conduzida utilizando o programa Microsoft Excel para separação das citações dos autores pelas etapas do ciclo de vida da produção das garrafas de vidro na indústria de bebidas. Durante a leitura dos artigos, os dados utilizados neste estudo foram coletados: % de conteúdo reciclado; Estágio do ciclo de vida analisado; Transporte (Fatores relacionados com o transporte, paletização...); Descarte (Alternativas analisadas); Método de coleta; Impacto ambiental analisado; Fatores que mais influenciaram os impactos; Aspectos material (Peso do material e reciclagem); Aspectos de negócio; Aspecto do consumidor; Sugestões de ações futuras; Aspectos de energia; Limitações de outros métodos; Consumo de água; Emissão de gases de efeito estufa; Resíduos; Reutilização e Outros (Custos de produção e acidificação).

Relatar a “melhor evidência”: Após a conclusão da leitura dos artigos e extração dos dados, estes foram sintetizados e comparados em torno dos objetivos específicos. A partir de tabelas de análise e cruzamento de dados de cada fase do ciclo de vida, foi possível construir um entendimento dos impactos em cada uma das fases, isolar a contribuição das embalagens para estes impactos e avaliar as diferentes estratégias de fim de vida que foram estudadas.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A partir dos dados coletados da revisão bibliográfica sistemática e levantamentos referentes ao tema dos impactos do ciclo de vida da produção das garrafas de vidro, foram realizados uma série de análises comparativas entre os textos e informações disponibilizadas. O estudo utilizou pontos em comum entre diferentes metodologias aplicadas pelos autores a fim de elaborar gráficos sobre a relevância do assunto sobre o uso das embalagens de vidro e ressaltar quais destes impactos são os mais prejudiciais dentro da avaliação de todo o sistema.

Os dados apresentados no texto são os fornecidos pelos autores dos artigos da amostra da revisão sistemática. Vale uma nota que nem todos os trabalhos seguiram um padrão de apresentação dos resultados ou forneciam a quantificação dos impactos que analisaram. Em grande parte dos textos, foram realizadas análises do ciclo de vida do “Berço ao Túmulo”, ou seja, foram levados em consideração as etapas da viticultura, produção das embalagens, transporte e descarte dos resíduos.

### **4.1. Impactos ambientais**

Para a padronização da análise dos impactos ambientais, foram utilizadas as categorias mapeadas na Tabela 2 utilizando os impactos com maiores menções dos artigos utilizados na RBS, porém para cada um deles houve cenários e condições diferentes, ou seja, nem todos os impactos foram mapeados, sendo escolhidos apenas os mais importantes. Vale ressaltar que os impactos identificados englobam todo o ciclo de vida da fabricação do produto, porém nem todos eles estão relacionados ao ciclo de vida da produção das garrafas de vidro. A frequência utilizada diz respeito aos impactos utilizados pelos autores, ou seja, para o exemplo de “Gases de Efeito Estufa”, dos 43 artigos lidos, em 28 foram feitas menções sobre o impacto, e dentre eles, apenas 17 citaram os impactos específicos relacionados à produção das garrafas de vidro.



Tabela 2: Frequência de menções em relação aos impactos identificados

<b>Impactos identificados</b>	<b>Frequência do impacto na fabricação da bebida</b>	<b>Frequência do impacto na produção das garrafas de vidro</b>
Gases de Efeito Estufa (GEE)	28	17
Destruição do Ozônio Estratosférico (DOE)	12	1
Radiação Ionizante (RI)	8	1
Formação de Ozônio - Saúde Humana (FO-SH)	9	0
Formação de Matérias Particuladas Finas (FMPF)	6	2
Formação de Ozônio - Ecossistemas Terrestres (FO-ET)	9	0
Acidificação Terrestre (AT)	8	4
Eutrofização de Água Doce (EAD)	10	5
Eutrofização Marinha (EM)	10	4
Ecotoxicidade Terrestre (EcotoxT)	6	3
Ecotoxicidade de Água Doce (EcotoxAD)	4	0
Ecotoxicidade Marinha (EcotoxM)	3	0
Toxicidade Carcinogênica Humana (ToxCH)	10	4
Toxicidade Humana Não Cancerígena (ToxHNC)	6	0
Uso da Terra (UT)	4	4
Escassez de Recursos Minerais (ERM)	7	0
Escassez de Recursos Fósseis (ERF)	4	3
Consumo de Água (CA)	11	3

Fonte: Autoria própria (2023)

#### **4.2. Impactos do ciclo de vida da produção das garrafas de vidro**

O vidro apresenta um papel muito importante, uma vez que está presente em diversas áreas do cotidiano, como na indústria de bebidas, eletrônicos e farmacêutica. O vidro de uso único se tornou indispensável para atender as demandas, ao oferecer vantagens relacionadas ao seu custo-benefício e alta durabilidade. O vidro é um material com características únicas e muito versáteis, devido a sua capacidade de preservar o sabor e qualidade dos componentes que armazena, logo sua viabilidade é muitas vezes inquestionável. Porém, apesar das inúmeras vantagens, é importante destacar seus pontos negativos, presentes majoritariamente na etapa da produção.

O ciclo de vida da produção das garrafas de vidro envolve uma série de etapas, como a produção das garrafas, transporte e descarte de resíduos, dessa forma, dependendo do contexto de sua fabricação, há fatores que influenciam diretamente o aumento ou diminuição dos impactos ambientais gerados. Assim, é possível concluir que dentre as etapas mencionadas há uma ou mais que correspondem pelos maiores impactos, logo são considerados como pontos críticos do sistema. Na Tabela 3 foram levantados os principais pontos críticos, tendo em vista a quantidade de menções dos impactos de maior relevância pela etapa do ciclo de vida.

Tabela 3: Quantidade de menções por pontos críticos do ciclo de vida

<b>Pontos críticos das fases do ciclo de vida da produção das bebidas</b>	
<b>Etapas</b>	<b>Menções</b>
Produção da garrafa	14
Transporte das embalagens de vidro	7
Energia consumida no processo	6
Uso de água	1

Fonte: Autoria própria (2023)

Para a realização deste estudo, foram apresentadas cinco categorias separadas pelas principais etapas do ciclo de vida da produção das garrafas de vidro, sendo elas: Produção das garrafas de vidro; Engarrafamento; Uso de combustível e energia; Distribuição e transporte; Uso e descarte.

#### **4.2.1. Produção das garrafas de vidro**

Para que uma nova garrafa de vidro possa ser criada, são necessários materiais como areia, calcário e soda cáustica, o que gera impactos ambientais no momento de sua extração. Tais impactos são particularmente evidentes por meio da pesquisa realizada por Amienyo et al. (2016) em relação a indústria cervejeira, uma vez que o ponto crítico do ciclo de vida da produção da cerveja produzida está relacionado com a produção da matéria-prima para o vidro de uso único, uma vez que há uma contribuição média de 47% para os impactos ambientais totais.

Avaliando o ciclo de vida da produção das garrafas de vidro, em geral, as etapas de fusão e formação das garrafas geram os maiores impactos relacionados à emissão de gás carbônico. De acordo com a pesquisa realizada por Bonamente et al. (2016), a produção da embalagem é responsável por 56,10% da pegada carbônica total da produção de uma marca de vinho Italiano. Além disso, segundo Amienyo et al. (2016), a produção da embalagem é o principal ponto crítico dentro dos impactos ambientais presentes na produção de uma cerveja

no Reino Unido. O autor ainda afirma em outra pesquisa sobre a produção de bebidas carbonatadas no Reino Unido: “*O GEE mais alto (555 g CO<sub>2</sub> eq./l de bebida) é encontrado para a embalagem de vidro.*” (Amienyo, 2013 p.:84), confirmando que as grandes quantidades das emissões de GEE são responsáveis devido a produção do vidro de uso único e não a outras etapas da fabricação do produto, como no ciclo de vida da produção de cervejas e vinhos. Ainda assim, vale mencionar que devido à similaridade durante o processo de produção do vidro, haverá apenas uma pequena diferença entre as emissões de GEE para diferentes produtos nesta etapa, e tais valores podem diminuir ou aumentar dependendo das mudanças adotadas no sistema, como o peso das garrafas, volume, quantidade de material reciclado, entre outros.

O peso de um material pode influenciar diversos aspectos durante o ciclo de vida da produção das garrafas de vidro, pois com a tomada da decisão de deixá-lo mais leve ou pesado, outros fatores também serão influenciados como consequência. Comumente associa-se às etapas de produção das garrafas e sua distribuição como os fatores decisivos de seu peso, porém a percepção do consumidor na hora da compra pode ser crucial para tais modificações. Segundo Harb et al. (2021), quando o peso de uma garrafa de vinho é mais leve, isso pode alterar a percepção do consumidor, uma vez que é feita uma associação de que garrafas de vidro mais pesadas implicam em produtos de maior qualidade. Há uma parcela da população que valoriza o vinho com características mais sustentáveis, porém ainda assim seria necessário a educação por parte de tais simpatizantes que não compreendem a importância da redução em seu peso, pois como reforçam Ponstein et al. (2019), os vinhos presentes em garrafas pesadas são considerados como os mais valiosos pelos consumidores, quando comparada com as garrafas leves, isso implica em uma barreira de implementação por parte das fabricantes.

Com seu aumento de peso, o vidro contribui significativamente no consumo geral de recursos e energia durante a sua fabricação. Outro fator que deve ser mencionado é o transporte, pois com garrafas de vidro mais pesadas, o consumo de combustível também será maior, visto que será necessário maior esforço, aumentando as emissões de GEE.

Dessa forma, a comunicação entre produtores e consumidores por meio de campanhas de conscientização sobre a importância de um material mais leve, poderia incentivar ainda mais os produtores que desejam implementar a sustentabilidade durante o ciclo de vida da produção das garrafas de vidro e diminuir os impactos atuais, pois de acordo com Harb et al. (2021), tal diminuição pode reduzir o impacto geral do vidro, visto que por meio de testes em pesquisas similares, o transporte e armazenamento do vidro é seguro com vidros mais leves. Além disso, com uma redução de 20% em seu peso, haveria uma redução média de 6% na formação de

ozônio, 8% na acidificação e alterações climáticas e 10% na redução de partículas e a radiação de ionização.

#### 4.2.2. Engarrafamento

Outra análise que pode ser realizada está relacionada à quantidade de CO<sub>2</sub> gerada por litro do produto para a etapa de engarrafamento. Existem dois cenários que podem ser levados em consideração. O primeiro é o engarrafamento e consumo do produto localmente, como em uma cidade, região ou país de pequeno porte, por exemplo em casos de países europeus. Já o segundo, está relacionado à exportação dos produtos e consumo fora de seu país de produção, neste caso o engarrafamento pode ser no país de origem ou no de consumo.

Considerando o primeiro cenário referentes às produções das bebidas apenas em escala local, ou seja, quando o produto não é comercializado para fora da sua unidade geográfica, as pesquisas relacionadas a ACV destes produtos, revelaram que houve pequenas variações para as emissões de GEE, quando as características do produto, distância de distribuição e uso de ações sustentáveis, como a reciclagem e reuso foram alteradas. Além disso, dos valores levantados na Tabela 4 foi possível observar que as emissões de GEE são estáveis, ficando entre 0,319 quilogramas de dióxido de carbono equivalente por litro (kg eq./l) e 0,675 kg eq./l, visto que esse distanciamento nos valores se deu por conta da produção de diferentes produtos, como cervejas, vinhos e bebidas carbonatadas (Harb et al., 2021; Ponstein et al., 2019; Amienyo et al., 2016, Meneses et al., 2016, Neto et al., 2013, Amienyo et al., 2013 e Gazulla et al., 2010).

Tabela 4: Total de emissões no engarrafamento por produto

Autor	Ano	Produto	Total das emissões (kg CO <sub>2</sub> eq./l)
Harb et al.	2021	Vinho	0,319
Ponstein et al.	2019	Vinho	0,390
Amienyo et al.	2016	Cerveja	0,464
Amienyo et al.	2013	Bebidas carbonatadas	0,414
Meneses et al.	2016	Vinho	0,675
Neto et al.	2013	Vinho	0,440
Gazulla et al.	2010	Vinho	0,319

Fonte: Harb et al., 2021; Ponstein et al., 2019; Amienyo et al., 2016, Meneses et al., 2016, Neto et al., 2013, Amienyo et al., 2013 e Gazulla et al., 2010

Para exemplificar o segundo cenário, de acordo com a pesquisa realizada por Ponstein et al. (2019) foram realizadas medidas para avaliar os impactos da importação dos vinhos de seus países de origem até o mercado consumidor Finlandês levando em consideração as

emissões de GEE no local de engarrafamento e transporte. A Tabela 5 apresenta: 1) Os impactos totais das emissões na fabricação do produto. 2) Os impactos do engarrafamento no país de origem ou no país de consumo. 3) A quantidade de emissões para o transporte quando ele é engarrafado no país de origem ou no país de consumo. As medidas estão em kg CO<sub>2</sub> eq./l e sua unidade funcional (FU) é uma garrafa de 750 ml.

Das informações da Tabela 5, é possível avaliar alguns aspectos importantes. O primeiro deles é a distância, pois a quantidade de emissões aumenta proporcionalmente com o uso de transportes de um país ao outro, na maioria das vezes caminhões e navios com grandes cargas. Já o segundo é a taxa de reciclagem do país que fará o engarrafamento, visto que para os locais que apresentam menores demandas de reintrodução dos materiais virgens, consequentemente terão uma redução nas emissões.

Tabela 5: Quantidade de emissões por etapa do ciclo de vida

País de origem (PDO)	Austrália		Chile		Alemanha		África do Sul		USA	
Local de engarrafamento	PDO	FIN <sup>1</sup>	PDO	FIN <sup>2</sup>	PDO	FIN <sup>3</sup>	PDO	FIN <sup>4</sup>	PDO	FIN <sup>5</sup>
<b>Total das emissões (kg CO<sub>2</sub> eq./l)</b>	1,932	1,681	1,661	1,443	1,252	1,322	1,789	1,601	1,625	1,4
<b>Emissões no engarrafamento (kg CO<sub>2</sub> eq./l)</b>	0,684	0,548	0,684	0,548	0,459	0,548	0,684	0,548	0,684	0,548
<b>Emissões no transporte (kg CO<sub>2</sub> eq./l)</b>	0,424	0,309	0,336	0,254	0,18	0,161	0,257	0,204	0,353	0,264

Fonte: Ponstein et al., 2019

Nota: 1: Produto importado da Austrália; 2: Produto importado do Chile; 3: Produto importado da Alemanha; 4: Produto importado da África do Sul; 5: Produto importado dos EUA

#### 4.2.3. Uso de combustível e energia

Durante o ciclo de vida da produção das garrafas de vidro, desde a produção do material até o descarte, existem vários aspectos energéticos que podem ser levados em consideração, por exemplo a escolha da fonte de energia, como as que envolvem a queima de material fóssil ou mesmo fontes renováveis, a eficiência energética de tais meios e os impactos ambientais associados. Comumente os impactos gerados pela demanda energética durante o ciclo de vida são vistos como a principal forma que leva os grandes produtores a manterem ou descartarem

o uso de fontes fósseis ou renováveis, porém é necessário visualizar quais são os principais fatores que influenciam tais impactos no sistema. De acordo com Boutros et al. (2021), para que seja produzida uma garrafa de vidro são necessárias quantidades significativas de energia, logo o uso de combustíveis também será muito maior. Portanto, cerca de 97,44% do total de uso de energia durante o ciclo de vida é representado por energias não renováveis. Ainda em relação à produção das garrafas, segundo a pesquisa de Harb et al. (2021), as autores afirmam que devido à sua elevada necessidade da quota de energia por tonelada de produto, se faz necessário as altas temperaturas para derreter as matérias-primas na indústria do vidro, sendo assim referenciada na literatura como intensiva em energia.

Atualmente existem alternativas que podem diminuir os impactos provenientes do uso majoritário das fontes fósseis, por exemplo de acordo com a pesquisa realizada por Tua et al. (2020) referente ao processo de reuso das garrafas de água na Itália, indicam que para o processo de acondicionamento da garrafa, seria possível otimizar o consumo de energia promovendo o maior uso de energias renováveis e diminuindo as de fontes fósseis, contribuindo por exemplo no processo de queima da caldeira, uma vez que seria alimentada combinando o uso de energia e calor da queima. Ainda assim, segundo Ponstein et al. (2019), utilizando um cenário de substituição da energia elétrica por rede para as de fontes renováveis, seria possível alcançar uma diminuição das emissões de GEE em 9% do total.

Por fim, é importante ressaltar que o consumo de energia é geralmente visto como um ponto crítico no sistema do ciclo de vida. Em uma pesquisa realizada por Leivas et al. (2021) para a produção de uma marca de Gin, as etapas da produção da garrafa de vidro, distribuição e consumo de energia foram consideradas como pontos críticos do sistema.

#### **4.2.4. Distribuição e transporte**

Em relação à etapa de distribuição das garrafas de vidro, ela pode ser considerada como o segundo maior ponto crítico em impactos ambientais com a emissão de GEE e o esgotamento dos recursos fósseis, pois segundo Bonamente et al. (2016): *“A produção da embalagem e a distribuição são os dois processos mais impactantes em termos de pegada carbônica (56,10 e 41,08%, respectivamente)”* (Bonamente et al., 2016 p.:281). Embora o impacto gerado pelas emissões de CO<sub>2</sub> relacionado a etapa da distribuição seja menor quando comparado a produção das garrafas de vidro de uso único, ainda assim é necessário avaliar diferentes aspectos que podem agravar o problema.

Do ponto de vista dos produtores, a logística relacionada ao transporte do produto recém-fabricado ao varejista tem um papel fundamental para avaliar quais serão os níveis de

emissão de CO<sub>2</sub> durante o trajeto, além do bom funcionamento da cadeia de suprimento, para garantir que o produto irá manter as características esperadas. Em relação a essas emissões, de acordo com a pesquisa realizada por Amienyo et al. (2013) para bebidas carbonatadas no Reino Unido, quando comparada com fatores mais relevantes, a participação da distribuição nas emissões acaba sendo mais baixa, visto que mesmo considerando uma distância de 10 quilômetros (km) e outra de 200 km do produtor até o varejista, houve uma diferença percentual de apenas 2% nos valores, considerando a utilização do mesmo tipo de transporte. Porém, de acordo com a pesquisa realizada por Bosco et al. (2011), os impactos relacionados à distribuição se tornaram relevantes apenas quando houve um aumento significativo nas distâncias de distribuição, alcançando mercados internacionais.

Porém a análise não pode ser limitada apenas a este fator, visto que existem diferentes cenários e condições que os produtores devem levar em consideração na hora da venda. Dentre eles, tem-se a escolha do meio de transporte utilizado, onde há diversas opções disponíveis e que suportam quantidades diferentes, por exemplo, para o cenário de consumo local, as melhores opções são os caminhões e ferrovias, considerando o transporte ferroviário mais eficiente, pois de acordo com Cimini et al. (2018), a alteração rodoviária para a ferroviária, auxiliou em uma redução de 10 a 13% nas emissões de CO<sub>2</sub>. Por outro lado, para as exportações, a escolha mais viável é a naval, apresentando mais unidades por *pallets* carregados.

Fatores como o peso das garrafas também influenciam nos impactos, pois segundo Morgan et al. (2022), quanto mais pesada a garrafa for, maior será o aumento da relação kg/km das emissões. Além disso, em concordância a este tópico, Ferrara et al. (2020) afirmam que as embalagens de vidro por apresentarem diferentes formatos e maior peso, consequentemente diminuem a eficiência para a paletização, devido ao maior uso de embalagens secundárias para sua padronização nos contêineres, gerando assim maiores emissões.

Por fim, outra análise relevante está relacionada ao local em que o produto será engarrafado, levando em consideração aspectos como a região de maior consumo (para os casos de um mesmo país), onde segundo Várquez-Rowe et al. (2017), seria possível uma redução nos impactos ambientais e nos custos ao utilizar maiores contêineres (como barris) e transportar a bebida produzida de cidades vizinhas até a capital, que apresenta o maior consumo do país e onde será engarrafada.

#### **4.2.5. Uso e descarte**

As embalagens de vidro são uma escolha muito comum entre os consumidores das principais bebidas consumidas no mundo, entre elas estão a cerveja e o vinho, devido às suas

qualidades como a preservação do sabor e durabilidade, além da crença entre os consumidores de que as embalagens de vidro agregam valor no momento da compra. O descarte, assim como as etapas iniciais do ciclo de vida, desempenha um papel crucial para os impactos ambientais. Assim, segundo Cleary (2013), o gerenciamento de resíduos durante o ciclo de vida envolve coleta, transferência, triagem, reciclagem/reuso e descarte de resíduos.

Além disso, a embalagem de vidro tem o potencial de ser reciclado indefinidamente, porém a implementação efetiva de um sistema de reciclagem traz diversas limitações entre os produtores, uma vez que a coleta do vidro entre varejistas ou mesmo cooperativas parceiras pode ser um motivo de maiores custos na produção, quando comparado ao uso do material virgem. Ainda assim, a falta de conscientização em relação aos consumidores pode ser um grande agravante, pois em um país com condições precárias de separação e coleta dos resíduos sólidos há maior dificuldade para que voltem ao sistema.

Outro fator relevante, segundo a pesquisa de Amienyo et al. (2016), os autores retratam que os custos de gerenciamento dos resíduos e enchimento das embalagens de vidro são maiores quando comparados a outras opções no mercado, como o alumínio.

O reuso das garrafas também é uma alternativa que pode diminuir a quantidade de resíduos nos aterros sanitários, uma vez que a menor necessidade de confecção de novas embalagens diminuiria significativamente o descarte de resíduos no sistema. Porém, assim como na reciclagem, há limitações que interferem em sua eficiência, estando entre elas a falta de padronização das garrafas no mercado, o que limita a sua reutilização por qualquer empresa e pela fragilidade do vidro, visto que o transporte das garrafas pode gerar uma grande quantidade de pedaços de vidro que consequentemente serão descartados.

Entretanto, a escolha da reciclagem ou reutilização frente às garrafas de uso único são essenciais para que se possa alcançar uma grande redução dos resíduos, logo de acordo com Morgan et al. (2022), ao utilizar garrafas retornáveis, a necessidade de produção das novas garrafas reduziria em 68%, o que consequentemente levaria a uma redução de 40% na geração de resíduos no processo do ciclo de vida. Ainda em relação aos benefícios encontrados, segundo pesquisa de Amienyo (2016), para cada aumento de 10% na quantidade de vidro reciclado, haveria uma diminuição da quantidade de resíduos após seu uso, acompanhado de outras melhorias ambientais.



### **4.3. Comparativo entre reciclagem e reuso**

#### **4.3.1. Reciclagem**

A reciclagem do vidro é um processo que pode trazer uma série de vantagens quando comparada a produção das embalagens de vidro a partir da matéria prima virgem. Para que uma nova embalagem de vidro seja fabricada, é necessária uma grande quantidade de energia durante o processo de fusão, o que consequentemente acarreta maiores taxas de emissão de GEE, logo é o principal ponto crítico em todo o ciclo de vida da produção das garrafas de vidro de vinhos e cervejas. Ao retornar o material reciclado para a produção de novas garrafas e evitar materiais virgens, além de ser necessário um menor uso de energia, a reciclagem tem como uma de suas principais vantagens as reduções significativas de GEE.

Além disso, outro fator relevante diz respeito ao uso de água durante a produção. de acordo com Georgakellos et al. (2016) ao inserir cada vez mais material reciclado de volta ao seu ciclo de vida no momento da produção de novas garrafas, maior será a redução no consumo de água, logo esta redução será diretamente proporcional. Outro ponto mencionado pelo autor é o aumento dos resíduos sólidos, visto que os resíduos não se limitam apenas no descarte da embalagem de vidro, mas em suas embalagens secundárias e terciárias, como rótulos e tampas. Dessa forma, é possível relacionar a redução significativa dos resíduos com o aumento da taxa de reciclagem.

Pensando na continuidade do sistema, em países desenvolvidos como a Alemanha e Canadá existem as taxas obrigatórias de reciclagem para materiais, como no caso do vidro. Tais obrigatoriedades desempenham um papel fundamental no cumprimento de normas ambientais e garantem a produção sustentável com a abordagem eficaz para economizar água, diminuir a pressão sobre aterros sanitários e as emissões de GEE.

Porém, mesmo existindo programas de incentivo e uma crescente procura por produtos sustentáveis no mercado, várias condições limitantes ainda devem ser atendidas. Levando em conta os locais onde as condições são precárias, os principais limitantes são a baixa eficiência da coleta do vidro e até mesmo a falta da infraestrutura necessária para coletar, separar e reciclar esse material de forma eficaz. Além disso, temos que atualmente é possível encontrar outras soluções que podem ser até mesmo melhores que a reciclagem, porém com a facilidade de sua implementação por parte das empresas, muitas estratégias ainda são voltadas à produção de novas embalagens, aumentando a quantidade de resíduos sólidos gerados (Castro et al., 2023). Assim, um exemplo disso é o “*greenwashing*”, onde apenas estratégias comuns da reciclagem

são utilizadas pelas empresas, porém com o aumento da procura por produtos sustentáveis, haverá um aumento no consumo, logo não há uma efetiva redução dos impactos ambientais.

Já em relação ao consumo de energia, de acordo com Georgakellos et al. (2006), caso a produção de novas embalagens não esteja acompanhada do aumento da reintrodução do material reciclado, a energia necessária para processar os novos materiais virgens da garrafa será superior a energia gasta de todo o processo de reciclagem, por exemplo, se para o processo de reciclagem for necessário um total de 0,1 quilowatt-hora (kWh), mas para o mesmo processo (com 50% do material reciclado) o gasto energético para processar apenas o material virgem seja de 0,15 kWh, não haverá a economia de energia proposta pela reciclagem. Por fim, o autor afirma que a melhoria dos parâmetros ambientais, não dependem só da reciclagem, mas de um conjunto de estratégias que envolvem reciclagem, reuso, design de embalagem entre outros.

#### **4.3.2. Reuso**

O vidro é um material muito presente em nosso cotidiano, estando comumente presente em embalagens de bebidas. Porém, na grande maioria dos casos, as embalagens que são utilizadas apenas uma vez, são descartadas em aterros sanitários e geram um grande impacto ambiental em relação ao grande volume de resíduos sólidos. Durante a produção do vidro, aspectos como durabilidade, formato e quantidades de usos são levados em consideração, ou seja, é contraditório apenas realizar um único uso para tais materiais. Assim, como uma forma eficiente de mitigar tais impactos, a reutilização do vidro se tornou uma opção viável e sustentável. O primeiro aspecto que deve ser levado em consideração é a diminuição da dependência de materiais virgens para a produção de uma nova garrafa, visto que tal etapa é a que tem maior impacto nas emissões de GEE. De acordo com a pesquisa realizada por Landi et al. (2019), ao ser utilizado um sistema de reuso do vidro, todos os impactos ambientais mapeados para a produção de um vinho foram negativos, exceto para o esgotamento fóssil, logo isso evidencia a sua grande vantagem ambiental. Ainda neste contexto, Amienyo et al. (2013) afirmam que *“A reutilização de garrafas de vidro reduziria as emissões de GEE em até 2,5 vezes.”* (Amienyo et al., 2013 p.:90), ou seja, com uma implementação eficiente de um sistema de coleta e reutilização das garrafas de vidro, seria possível obter resultados com muito potencial, e assim, auxiliar em um desenvolvimento ainda mais sustentável.

Dessa forma, para que um sistema de reuso efetivo possa ser implementado entre as empresas e consumidores, algumas condições deveriam ser alcançadas, por exemplo, de acordo com Várquez-Rowe et al. (2017), ao utilizar uma garrafa de vidro padrão para reuso entre todas as empresas em uma escala local, a implementação do sistema seria facilitada, pois todos

aproveitaram das mesmas necessidades, como pontos de coletas entre os varejistas, reintrodução das garrafas retornáveis na linha de produção, maior facilidade para lavagem das garrafas, além da reutilização das garrafas pelos consumidores em suas residências, diminuindo a necessidade de novas embalagens.

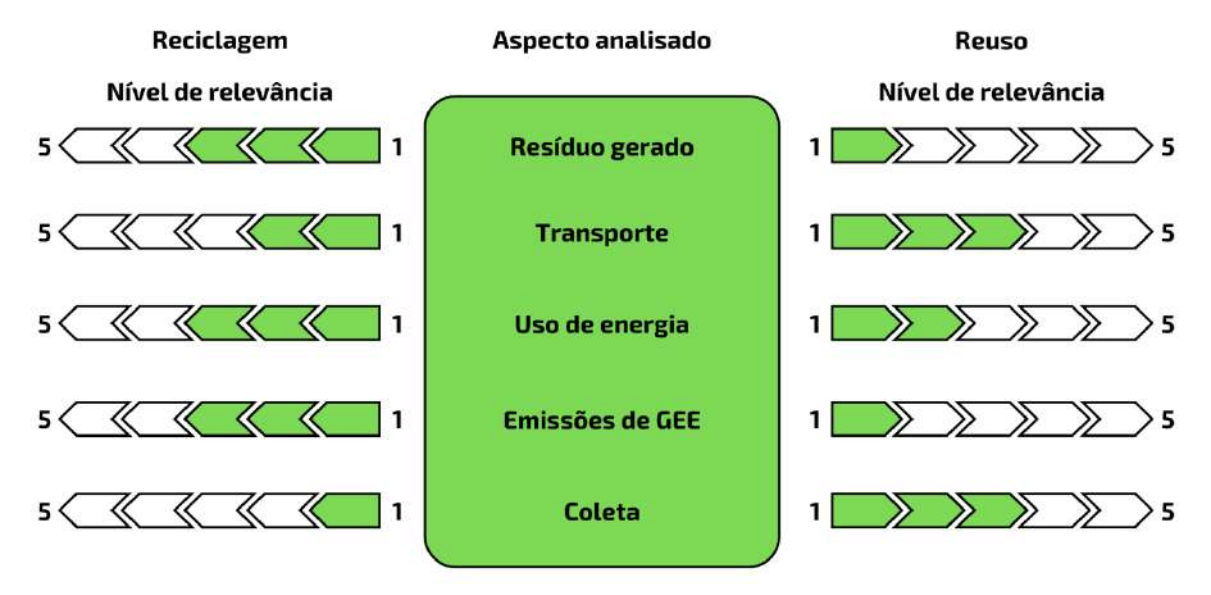
Em relação a eficiência das garrafas, temos de acordo com a pesquisa de Mata (2001) em relação a produção de cervejas engarrafadas que, por ano as garrafas reutilizáveis podem ser utilizadas 6 vezes, e a partir da segunda utilização compensam os impactos gerados pelo vidro de uso único, podendo transportar um total de 330 litros de cerveja. Ou seja, pelo fato de não ser necessário o aumento na produção de novas garrafas, a economia em energia e emissões se tornam muito maiores, fazendo com que a eficiência da implementação de um sistema de reuso seja diretamente proporcional à quantidade de reutilizações possíveis. Porém, a sua eficiência não é ilimitada, pois de acordo com Roos Lindgreen et al. (2021), após as recargas 7 e 9 de um garrafa retornável, a redução nas emissões de GEE se tornaram menos relevantes, logo há um fator limitante em que o aumento no número de recargas não irá gerar diminuições significativas deste impacto.

Um ponto que não deve ser ignorado para o programa está relacionado ao transporte das garrafas e suas características físicas, ou seja, a partir da pesquisa realizada por Tua et al. (2020) em que avaliaram os impactos em função do número de entrega das garrafas de vidro reutilizáveis, temos que para distâncias reduzidas, como num raio de 200 km, as garrafas reutilizáveis são nitidamente mais eficientes a partir de duas entregas, mas com o aumento progressivo da distância entre a fábrica e o distribuidor, cada vez mais usos devem ser feitos para que seja possível alcançar melhores desempenhos ambientais. Além deste fator, pelo vidro apresentar características muito frágeis, é inevitável que alguns algumas garrafas quebrem durante o transporte, logo pela análise de Van Doorselaer et al. (1999), se a taxa de quebra for muito alta, serão necessárias ainda mais utilizações por garrafa para compensar os impactos gerados no consumo de energia para produção de uma nova garrafa.

Por fim, vale ressaltar que diversas partes devem estar interligadas a fim de alcançarem os resultados esperados da reutilização. De acordo com Ferrara et al. (2021), com a diminuição das distâncias de distribuição, relacionados a coleta da garrafa utilizada e fornecimento aos varejistas, e o aumento da quantidade de usos por garrafa, haverá o aumento da eficiência do processo. Além disso, como forma de potencializar o sucesso da implementação do programa, as empresas deveriam envolver ainda mais os clientes, desenvolvendo campanhas de conscientização para transmitir os benefícios ambientais da reutilização do vidro.

A Figura 3 é uma representação criada a partir do presente estudo levando em consideração as análises realizadas pela leitura dos artigos relacionados a ACV da produção das garrafas de vidro, além de retratar o comparativo entre os principais aspectos de ambas as estratégias circulares. A barra preenchida ao lado de cada aspecto indica o nível de relevância dos impactos ambientais, tendo em vista a o quão impactante o aspecto analisado era para todo o ciclo de vida, ou seja, quanto maior for a relevância, maior será o impacto ambiental, sendo 5 caracterizado como um valor crítico para os impactos, e 1, para o valor que gera uma quantidade de impactos muito baixo, por exemplo, o aspecto de “Resíduo gerado” na aba de reuso está com o valor 1, logo indica que o impacto dos resíduos para o reuso é muito baixo quando comparado com a da reciclagem que apresenta maior geração, pois é dependente da quantidade de material reciclado que retorna no momento da produção de uma nova garrafa.

Figura 3: Nível de relevância dos aspectos da reciclagem e reuso



Fonte: Autoria própria (2023)

## 5. CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo comparar diferentes estratégias circulares para as embalagens de vidro na indústria de bebidas utilizando estudos sobre o tema da ACV publicados sobre o setor. Foi realizada uma análise comparativa entre três tipos de produtos (cervejas, vinhos e bebidas carbonatadas) em uma série de países dos artigos da RBS, utilizando as garrafas de vidro como embalagem.

A intenção era mapear os impactos ambientais em diferentes etapas do ciclo de vida da produção das garrafas de vidro, o que pode ser alcançado nos resultados pela divisão em tópicos sobre cada tema. Além disso, foram identificadas as etapas que causam os maiores impactos, sendo denominadas por pontos críticos. Já em relação aos principais fatores que influenciam nos impactos, houve destaque quanto às estratégias circulares que podem ser utilizadas pelas empresas, e que foram mencionadas no estudo, por exemplo as características físicas da garrafa, escolha dos transportes e escolha dos meios de energia utilizados. Por fim, foi desenvolvido um comparativo entre as duas principais estratégias circulares mencionadas nos artigos, sendo elas a reciclagem e reutilização, com as principais vantagens e desvantagens de cada uma delas.

O estudo também contribuiu de forma a alcançar maior entendimento sobre as etapas do ciclo de vida da produção das garrafas de vidro na indústria de bebidas. A metodologia da ACV foi crucial para tais resultados, uma vez que foi possível visualizar todas as etapas, sendo elas: Produção das garrafas de vidro; Engarrafamento; Uso de combustível e energia; Distribuição e transporte; Uso e descarte.

Tendo em vista a necessidade de compreensão de todo o ciclo de vida da produção das garrafas de vidro, o estudo auxiliou com o maior entendimento em relação ao tema, sendo possível desenvolver estratégias circulares que englobam as diferentes etapas de produção. As estratégias de reciclagem e reuso por sua vez merecem maior atenção, uma vez que para que ocorra a implementação de um conjunto delas, um ou ambos os sistemas devem ser efetivamente implementados no modelo de negócio da empresa, para que seja possível afetar todas as etapas da produção. Os meios de escolha para a implementação destes sistemas podem variar por diversos motivos. Ambas as estratégias, reciclagem e reuso, têm seus méritos e desafios. A escolha entre elas deve ser baseada em análises do ciclo de vida da produção das garrafas de vidro, considerações sobre questões econômicas, regulamentações locais e preferências do consumidor. Na maioria dos contextos, uma combinação das duas estratégias pode ser a abordagem mais eficaz para reduzir os impactos ambientais enquanto se atende às demandas do mercado.

Do ponto de vista ambiental, com o maior conhecimento sobre o assunto, outras esferas da sociedade poderão se beneficiar. O aumento das campanhas sobre estratégias circulares, como as de conscientização sobre a reciclagem e reuso, podem ser um grande diferencial na redução dos impactos gerados atualmente, pois com a maior aceitação dos consumidores, haverá mudanças nas características da garrafa, logística dos transportes utilizados e menor necessidade de extração de matéria prima, diminuindo a geração excessiva de lixo, poluição da água e do solo e de doenças contagiosas. Outro aspecto que pode ser utilizado do estudo é o incentivo ao uso de estratégias de forma conjunta, pois como demonstrado, por mais que ocorra a redução de forma individual, isso não é o bastante para que compense apenas a sua implementação, por exemplo não basta apenas diminuir o peso das garrafas de vidro, caso o meio de transporte utilizado gere muito mais emissões do que foi economizado. Levando em conta as diferentes etapas, também deve ser ressaltado que a escolha de tais estratégias devem ser direcionadas ao ponto crítico do sistema, sendo responsável majoritariamente pelos impactos ambientais.

Por fim, vale ressaltar que durante a pesquisa alguns fatores limitante foram encontrados, como a falta de padronização em relação a metodologia utilizada entre os autores citados, pois a análise realizada neste estudo utilizou os impactos ambientais com maior relevância na maioria dos textos, por exemplo, caso um texto utilizasse um parâmetro que apenas foi citado no mesmo, ele não foi mapeado durante a comparação quantitativa do estudo. Outro aspecto está relacionado ao fato de que nem todos os artigos realizaram análises quantitativas dos impactos gerados em cada uma das etapas do ciclo de vida da produção das garrafas de vidro, limitando à comparação.

## REFERÊNCIAS

- Abejón, R., Laso, J., Margallo, M., Aldaco, R., Blanca-Alcubilla, G., Bala, A., & Fullana-i-Palmer, P. (2020). Environmental impact assessment of the implementation of a Deposit-Refund System for packaging waste in Spain: A solution or an additional problem? *Science of the Total Environment*, 721. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137744>
- Amienyo, D., & Azapagic, A. (2016). Life cycle environmental impacts and costs of beer production and consumption in the UK. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(4), 492–509. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1028-6>
- Amienyo, D., Gujba, H., Stichnothe, H., & Azapagic, A. (2013). Life cycle environmental impacts of carbonated soft drinks. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(1), 77–92. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0459-y>
- Benedetto, G. (2013). The environmental impact of a Sardinian wine by partial Life Cycle Assessment. *Wine Economics and Policy*, 2(1), 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.wep.2013.05.003>
- Bonamente, E., Scrucca, F., Rinaldi, S., Merico, M. C., Asdrubali, F., & Lamastra, L. (2016). Environmental impact of an Italian wine bottle: Carbon and water footprint assessment. *Science of the Total Environment*, 560–561, 274–283. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.026>
- Bosco, S., di Bene, C., Galli, M., Remorini, D., Massai, R., & Bonari, E. (2011). Greenhouse gas emissions in the agricultural phase of wine production in the Maremma rural district in Tuscany, Italy. *Italian Journal of Agronomy*, 6(2), 93–100. <https://doi.org/10.4081/ija.2011.e15>
- Boutros, M., Saba, S., & Manneh, R. (2021). Life cycle assessment of two packaging materials for carbonated beverages (polyethylene terephthalate vs. glass): Case study for the lebanese context and importance of the end-of-life scenarios. *Journal of Cleaner Production*, 314. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128289>
- Brasil. (2010) Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências, 2010.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. (2022). Plano Nacional de Resíduos Sólidos – Planares. Brasília, DF. <https://portal-api.sinir.gov.br/wp-content/uploads/2022/07/Planares-B.pdf>
- Briner, R.B., Denyer, D. (2012) Systematic Review and Evidence Synthesis as a Practice and Scholarship Tool. In: Rousseau, D.M., Ed., *Handbook of Evidence-Based Management: Companies, Classrooms and Research*, Oxford University Press, Oxford, 112-129. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199763986.013.0007>

Castro, C. G., Trevisan, A. H., Pigosso, D. C. A., & Mascarenhas, J. (2022). The rebound effect of circular economy: Definitions, mechanisms and a research agenda. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 345). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131136>

Cimini, A., & Moresi, M. (2018). Are the present standard methods effectively useful to mitigate the environmental impact of the 99% EU food and drink enterprises? In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 77, pp. 42–53). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.005>

Cimini, A., & Moresi, M. (2018). Mitigation measures to minimize the cradle-to-grave beer carbon footprint as related to the brewery size and primary packaging materials. In *Journal of Food Engineering* (Vol. 236, pp. 1–8). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.05.001>

Cleary, J. (2013). Life cycle assessments of wine and spirit packaging at the product and the municipal scale: A Toronto, Canada case study. *Journal of Cleaner Production*, 44, 143–151. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.01.009>

Cordella, M., Tugnoli, A., Spadoni, G., Santarelli, F., & Zangrando, T. (2008). LCA of an Italian lager beer. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(2), 133–139. <https://doi.org/10.1065/lca2007.02.306>

de Marco, I., Miranda, S., Riemma, S., & Iannone, R. (2016). Life cycle assessment of ale and lager beers production. *Chemical Engineering Transactions*, 49, 337–342. <https://doi.org/10.3303/CET1649057>

Ellen MacArthur Foundation (2013). CIRCULAR ECONOMY TOWARDS THE CIRCULAR ECONOMY: An economic and business rationale for an accelerated transition. 97. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>

Eriksson, O., Jonsson, D., & Hillman, K. (2016). Life cycle assessment of Swedish single malt whisky. *Journal of Cleaner Production*, 112, 229–237. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.050>

Ferrara, C., & de Feo, G. (2020). Comparative life cycle assessment of alternative systems for wine packaging in Italy. *Journal of Cleaner Production*, 259. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120888>

Ferrara, C., & de Feo, G. (2023). Comparative Life Cycle Assessment of Two Different Packaging Systems for Extra-Virgin Olive Oil: Glass Bottle vs. 100% Recycled Polyethylene



Terephthalate (PET) Bottle. *Sustainability* (Switzerland), 15(4).  
<https://doi.org/10.3390/su15043665>

Ferrara, C., de Feo, G., & Picone, V. (2021). Lca of glass versus pet mineral water bottles: An italian case study. *Recycling*, 6(3). <https://doi.org/10.3390/recycling6030050>

Gazulla, C., Raugai, M., & Fullana-I-Palmer, P. (2010). Taking a life cycle look at crianza wine production in Spain: Where are the bottlenecks? *International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(4), 330–337. <https://doi.org/10.1007/s11367-010-0173-6>

Georgakellos, D. A. (2006). The use of the LCA polygon framework in waste management. In *Management of Environmental Quality: An International Journal* (Vol. 17, Issue 4, pp. 490–507). Emerald Group Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1108/14777830610670544>

Gierling, F., & Blanke, M. (2021). Carbon reduction strategies for regionally produced and consumed wine: From farm to fork. *Journal of Environmental Management*, 278. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111453>

Hanssen, O. J., Rukke, E. O., Saugen, B., Kolstad, J., Hafrom, P., von Krogh, L., Raadal, H. L., Rønning, A., & Wigum, K. S. (2007). The environmental effectiveness of the beverage sector in Norway in a factor 10 perspective. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 12(4), 257–265. <https://doi.org/10.1065/lca2007.05.329>

Harb, W., Zaydan, R., & Vieira, M. (2021). Improving environmental performance in wine production by life cycle assessment: case of Lebanese wine. In *International Journal of Life Cycle Assessment*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01895-0>

Herva, M., Franco-Uría, A., Carrasco, E. F., & Roca, E. (2012). Application of fuzzy logic for the integration of environmental criteria in ecodesign. *Expert Systems with Applications*, 39(4), 4427–4431. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.09.148>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2021). Pesquisa Industrial Anual. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9042-pesquisa-industrial-anual.html?=&t=downloads>

Koroneos, C., Roumbas, G., Gabari, Z., Papagiannidou, E., & Moussiopoulos, N. (2005). Life cycle assessment of beer production in Greece. *Journal of Cleaner Production*, 13(4), 433–439. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2003.09.010>

Laca, A., Gancedo, S., Laca, A., & Díaz, M. (2021). Assessment of the environmental impacts associated with vineyards and winemaking. A case study in mountain areas. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(1), 1204–1223. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10567-9>

Landi, D., Germani, M., & Marconi, M. (2019). Analyzing the environmental sustainability of glass bottles reuse in an Italian wine consortium. *Procedia CIRP*, 80, 399–404. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.01.054>

Leivas, R., Laso, J., Hoehn, D., Margallo, M., Fullana-I-Palmer, P., & Aldaco, R. (2019). Product vs corporate carbon footprint: A case study for the spirit drinks sectors. *Chemical Engineering Transactions*, 76, 223–228. <https://doi.org/10.3303/CET1976038>

Leivas, R., Laso, J., Abejón, R., Margallo, M., & Aldaco, R. (2020). Environmental assessment of food and beverage under a NEXUS Water-Energy-Climate approach: Application to the spirit drinks. *Science of the Total Environment*, 720. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137576>

Manfredi, M., & Vignali, G. (2015). Comparative Life Cycle Assessment of hot filling and aseptic packaging systems used for beverages. *Journal of Food Engineering*, 147, 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.09.018>

Mann, J. C., Abramczyk, M. L., Andrews, M. R., Rothbart, J. A., Small, R. M., & Bailey, R. R. (2010). Sustainability at Kluge Estate vineyard and winery. *2010 IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium, SIEDS10*, 203–208. <https://doi.org/10.1109/SIEDS.2010.5469654>

Mata, T. M., & Costa, C. A. v. (n.d.). *Life Cycle Assessment of Different Reuse Percentages for Glass Beer Bottles*.

Meneses, M., Torres, C. M., & Castells, F. (2016). Sensitivity analysis in a life cycle assessment of an aged red wine production from Catalonia, Spain. *Science of the Total Environment*, 562, 571–579. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.083>

Meylan, G., Stauffacher, M., Krütli, P., Seidl, R., & Spoerri, A. (2015). Identifying Stakeholders' Views on the Eco-efficiency Assessment of a Municipal Solid Waste Management System: The Case of Swiss Glass-Packaging. *Journal of Industrial Ecology*, 19(3), 490–503. <https://doi.org/10.1111/jiec.12192>

Meylan, G., Ami, H., & Spoerri, A. (2014). Transitions of municipal solid waste management. Part II: Hybrid life cycle assessment of Swiss glass-packaging disposal. *Resources, Conservation and Recycling*, 86, 16–27. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.01.005>

Morgan, D. R., Styles, D., & Thomas Lane, E. (2022). Packaging choice and coordinated distribution logistics to reduce the environmental footprint of small-scale beer value chains. *Journal of Environmental Management*, 307. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114591>

Neto, B., Dias, A. C., & Machado, M. (2013). Life cycle assessment of the supply chain of a Portuguese wine: From viticulture to distribution. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(3), 590–602. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0518-4>

Ponstein, H. J., Meyer-Aurich, A., & Prochnow, A. (2019). Greenhouse gas emissions and mitigation options for German wine production. *Journal of Cleaner Production*, 212, 800–809. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.206>

Ponstein, H. J., Ghinai, S., & Steiner, B. (2019). How to increase sustainability in the Finnish wine supply chain? Insights from a country of origin based greenhouse gas emissions analysis. *Journal of Cleaner Production*, 226, 768–780. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.088>

República Federativa Do Brasil (2022). Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES). <https://sinir.gov.br/informacoes/plano-nacional-de-residuos-solidos/>

Roos Lindgreen, E., Mondello, G., Salomone, R., Lanuzza, F., & Saija, G. (2021). Exploring the effectiveness of grey literature indicators and life cycle assessment in assessing circular economy at the micro level: a comparative analysis. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(11), 2171–2191. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01972-4>

Sanches, J. R., Trevisan, A. H., Seles, B. M. R. P., Castro, C. G., Piao, R. S., Rozenfeld, H., & Mascarenhas, J. (2022). Sustainable Circular Economy Strategies: An Analysis of Brazilian Corporate Sustainability Reporting. *Sustainability (Switzerland)*, 14(10). <https://doi.org/10.3390/su14105808>

Simon, B., Amor, M. ben, & Földényi, R. (2016). Life cycle impact assessment of beverage packaging systems: Focus on the collection of post-consumer bottles. *Journal of Cleaner Production*, 112, 238–248. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.008>

Tua, C., Grosso, M., & Rigamonti, L. (2020). Reusing glass bottles in Italy: A life cycle assessment evaluation. *Procedia CIRP*, 90, 192–197. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.094>

Van Doorsselaer, K., & Lox, F. (1999). Estimation of the energy needs in life cycle analysis of one-way and returnable glass packaging. *Packaging Technology and Science*, 12(5), 235–239. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1522\(199909/10\)12:5<235::AID-PTS474>3.0.CO;2-W](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1522(199909/10)12:5<235::AID-PTS474>3.0.CO;2-W)

Varžinskas, V., Staniškis, J. K., & Knašyte, M. (2012). Decision-making support system based on LCA for aseptic packaging recycling. *Waste Management and Research*, 30(9), 931–939. <https://doi.org/10.1177/0734242X12448519>

Vázquez-Rowe, I., Cáceres, A. L., Torres-García, J. R., Quispe, I., & Kahhat, R. (2017). Life Cycle Assessment of the production of pisco in Peru. *Journal of Cleaner Production*, 142, 4369–4383. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.136>

## Apêndice A – Lista dos artigos selecionados na RBS

<b>Autor</b>	<b>Ano</b>	<b>Título</b>
Abejón R., Laso J., Margallo M., Aldaco R., Blanca-Alcubilla G., Bala A., Fullana-i-Palmer P.	2020	Environmental impact assessment of the implementation of a Deposit-Refund System for packaging waste in Spain: A solution or an additional problem?
Amienyo D., Azapagic A.	2016	Life cycle environmental impacts and costs of beer production and consumption in the UK
Amienyo D., Gujba H., Stichnothe H., Azapagic A.	2013	Life cycle environmental impacts of carbonated soft drinks
Benedetto G.	2013	The environmental impact of a Sardinian wine by partial Life Cycle Assessment
Bonamente E., Scrucca F., Rinaldi S., Merico M.C., Asdrubali F., Lamastra L.	2016	Environmental impact of an Italian wine bottle: Carbon and water footprint assessment
Bosco S., di Bene C., Galli M., Remorini D., Massai R., Bonari E.	2011	Greenhouse gas emissions in the agricultural phase of wine production in the Maremma rural district in Tuscany, Italy
Boutros M., Saba S., Manneh R.	2021	Life cycle assessment of two packaging materials for carbonated beverages (polyethylene terephthalate vs. glass): Case study for the lebanese context and importance of the end-of-life scenarios
Cimini A., Moresi M.	2018	Are the present standard methods effectively useful to mitigate the environmental impact of the 99% EU food and drink enterprises?
Cimini A., Moresi M.	2018	Mitigation measures to minimize the cradle-to-grave beer carbon footprint as related to the brewery size and primary packaging materials
Cleary J.	2013	Life cycle assessments of wine and spirit packaging at the product and the municipal scale: A Toronto, Canada case study
Cordella M., Tugnoli A., Spadoni G., Santarelli F., Zangrando T.	2008	LCA of an Italian lager beer
De Marco I., Miranda S., Riemma S., Iannone R.	2016	Life cycle assessment of ale and lager beers production
Eriksson O., Jonsson D., Hillman K.	2016	Life cycle assessment of Swedish single malt whisky
Ferrara C., De Feo G.	2023	Comparative Life Cycle Assessment of Two Different Packaging Systems for Extra-Virgin Olive Oil: Glass Bottle vs. 100% Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) Bottle

Ferrara C., De Feo G.	2020	Comparative life cycle assessment of alternative systems for wine packaging in Italy
Ferrara C., De Feo G., Picone V.	2021	LCA of glass versus pet mineral water bottles: An italian case study
Gazulla C., Raugei M., Fullana-I-Palmer P.	2010	Taking a life cycle look at crianza wine production in Spain: Where are the bottlenecks?
Georgakellos D.A.	2006	The use of the LCA polygon framework in waste management
Gierling F., Blanke M.	2021	Carbon reduction strategies for regionally produced and consumed wine: From farm to fork
Hanssen, O. J., Rukke, E. O., Saugen, B., Kolstad, J., Hafrom, P., von Krogh, L., Raadal, H. L., Rønning, A., & Wigum, K. S.	2007	The environmental effectiveness of the beverage sector in Norway in a factor 10 perspective
Harb W., Zaydan R., Vieira M.	2021	Improving environmental performance in wine production by life cycle assessment: case of Lebanese wine
Herva, M., Franco-Uría, A., Carrasco, E. F., & Roca, E.	2012	Application of fuzzy logic for the integration of environmental criteria in ecodesign
Koroneos C., Roumbas G., Gabari Z., Papagiannidou E., Moussiopoulos N.	2005	Life cycle assessment of beer production in Greece
Laca A., Gancedo S., Laca A., Díaz M.	2021	Assessment of the environmental impacts associated with vineyards and winemaking. A case study in mountain areas
Landi D., Germani M., Marconi M.	2019	Analyzing the environmental sustainability of glass bottles reuse in an Italian wine consortium
Leivas R., Laso J., Abejón R., Margallo M., Aldaco R.	2020	Environmental assessment of food and beverage under a NEXUS Water-Energy-Climate approach: Application to the spirit drinks
Leivas R., Laso J., Hoehn D., Margallo M., Fullana-I-Palmer P., Aldaco R.	2019	Product vs corporate carbon footprint: A case study for the spirit drinks sectors
Manfredi, M., & Vignali, G.	2015	Comparative Life Cycle Assessment of hot filling and aseptic packaging systems used for beverages
Mann J.C., Abramczyk M.L., Andrews M.R., Rothbart J.A., Small R.M., Bailey R.R.	2010	Sustainability at Kluge Estate vineyard and winery

Mata T.M., Costa C.A.V.	2001	Life cycle assessment of different reuse percentages for glass beer bottles
Meneses M., Torres C.M., Castells F.	2016	Sensitivity analysis in a life cycle assessment of an aged red wine production from Catalonia, Spain
Meylan G., Ami H., Spoerri A.	2014	Transitions of municipal solid waste management. Part II: Hybrid life cycle assessment of Swiss glass-packaging disposal
Meylan G., Stauffacher M., Krütli P., Seidl R., Spoerri A.	2015	Identifying Stakeholders' Views on the Eco-efficiency Assessment of a Municipal Solid Waste Management System: The Case of Swiss Glass-Packaging
Morgan D.R., Styles D., Thomas Lane E.	2022	Packaging choice and coordinated distribution logistics to reduce the environmental footprint of small-scale beer value chains
Neto B., Dias A.C., Machado M.	2013	Life cycle assessment of the supply chain of a Portuguese wine: From viticulture to distribution
Ponstein H.J., Ghinoi S., Steiner B.	2019	How to increase sustainability in the Finnish wine supply chain? Insights from a country of origin based greenhouse gas emissions analysis
Ponstein H.J., Meyer-Aurich A., Prochnow A.	2019	Greenhouse gas emissions and mitigation options for German wine production
Roos Lindgreen E., Mondello G., Salomone R., Lanuzza F., Saija G.	2021	Exploring the effectiveness of grey literature indicators and life cycle assessment in assessing circular economy at the micro level: a comparative analysis
Simon B., Amor M.B., Földényi R.	2016	Life cycle impact assessment of beverage packaging systems: Focus on the collection of post-consumer bottles
Tua C., Grosso M., Rigamonti L.	2020	Reusing glass bottles in Italy: A life cycle assessment evaluation
Van Doorsselaer K., Lox F.	1999	Estimation of the energy needs in life cycle analysis of one-way and returnable glass packaging
Varžinskas, V., Staniškis, J. K., & Knašyte, M.	2012	Decision-making support system based on LCA for aseptic packaging recycling
Vázquez-Rowe I., Cáceres A.L., Torres-García J.R., Quispe I., Kahhat R.	2017	Life Cycle Assessment of the production of pisco in Peru