



BIANCA MANDU DRABER

**ANÁLISE DA REINSERÇÃO DA GARRAFA DE
VIDRO EM SEU CICLO DE VIDA NO BRASIL**

LAVRAS – MG

2022

BIANCA MANDU DRABER

**ANÁLISE DA REINSERÇÃO DA GARRAFA DE VIDRO
EM SEU CICLO DE VIDA NO BRASIL**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Química, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof.(a) Dr(a). Lidja Dahiane Menezes Santos Borél
Orientadora

LAVRAS – MG

2022

BIANCA MANDU DRABER

**ANÁLISE DA REINserÇÃO DA GARRAFA DE VIDRO
EM SEU CICLO DE VIDA NO BRASIL**

**ANALYSIS OF THE GLASS BOTTLE REINSERTION
IN ITS LIFE CYCLE IN BRAZIL**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Química, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 22 de Abril de 2022.

Prof.^a Dr.^a. Lidja Dahiane Menezes Santos Borél

Prof.^a Dr.^a. Cristiane Alves Pereira

Prof.^a Dr. Gilson Campani Junior

Prof.^a Dr.^a. Lidja Dahiane Menezes Santos Borél

Orientadora

LAVRAS – MG

2022

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de dedicar este trabalho aos meus pais e irmãs e, agradecer por estarem sempre ao meu lado dividindo todas as dores comigo, me incentivando a seguir por este caminho para alcançar meus sonhos. Serei eternamente grata por todo o suporte proporcionado para que a obtenção deste título fosse possível.

Agradeço a querida professora Dr^a Lidja Dahiane Menezes Santos Borél, pela disponibilidade em me orientar e por todo o profissionalismo disposto para a concretização deste trabalho. Reconheço todo seu esforço e apoio perante este trabalho e, principalmente, todo o empenho nas disciplinas ministradas. Ter sido sua aluna, foi de grande valia para meu crescimento pessoal e com absoluta certeza, no meu crescimento profissional.

Por fim, mas não menos importante, gostaria de agradecer todos que cruzaram meu caminho desde o início da graduação: amigos, colegas, professores, funcionários da universidade etc. Cada um teve uma importante participação em minha formação e auxiliaram a me tornar quem sou hoje. Obrigada por terem feito parte desta etapa da minha vida, me proporcionando diversos momentos ao longo da graduação e que foram cruciais para que eu chegasse até aqui.

RESUMO

O aumento no consumo de bebidas engarrafadas e a necessidade de embalagens para suprir a demanda nos colocam em alerta com relação aos impactos associados ao ciclo de vida do vidro, englobando etapas como fabricação e destinação pós-consumo, demonstrando-se a importância de compreender quais as estratégias de reinserção deste material em seu sistema de produção no país. Perante o exposto, este trabalho teve como objetivo principal estudar o ciclo de vida das garrafas de vidro com ênfase na fase pós-consumo. Inicialmente realizou-se um estudo bibliométrico de trabalhos disponíveis na base *Web Of Science*, acerca das estratégias de reintegração do material no ciclo de vida ao longo dos anos no Brasil. A análise bibliométrica dos termos “*life cycle assessment*”, “*glass bottle*”, “*waste glass bottle*”, “*reuse*”, “*recycling*” e “*waste*”, utilizando o *software VOSviewer* mostrou a carência do país e da Engenharia Química frente ao assunto, em que foram publicadas apenas 7 publicações brasileiras desde 1993. Houve um aumento nas publicações a nível global sobre o tema a partir de 2019, sendo a Itália o país que mais contribuiu com o tema, tornando-se destaque no assunto. Somente a partir de pesquisas e estudos poderão surgir novas estratégias para a reutilização do material, as quais visam contribuir para a redução de impactos ambientais. A reciclagem traz economia, reduz emissões de CO₂, reduz o consumo de energia, resíduos e matérias-primas para a produção de novos materiais. Por ser o ano do vidro, de acordo com a ONU, espera-se que surjam novas estratégias de reciclagem e/ou a reinserção do vidro em outros processos para auxiliar na redução de extração de matéria-prima. Em seguida, avaliou-se a influência da taxa de reciclagem (25%, 47% e 75%) sobre o potencial de impacto associado ao ciclo da garrafa de vidro através de uma Análise do Ciclo de Vida (ACV). A ACV considerou a etapa de fabricação, distribuição e destinação das garrafas para aterro sanitário ou reciclagem do vidro, utilizando o *software OpenLCA* e a base de dados *Ecoinvent 3.7.1 APOS Unit Regionalized*. O estudo evidenciou que a taxa de reciclagem do vidro influencia diretamente no potencial de impacto quando comparado ao cenário atual do país. Destaca-se que, ao aumentar a taxa de reciclagem de 47% para 75% houve uma redução de aproximadamente 42% no potencial de impacto ambiental relativo à ocupação de áreas urbanas demonstrando que a reciclagem é um fator crucial para a manutenção e vida útil dos aterros sanitários. Atualmente, os aterros sanitários sofrem com a alta disposição de resíduos provenientes das grandes cidades. Esta demanda faz com que o aterro sanitário alcance sua capacidade máxima rapidamente, o que afeta sua vida útil devido ao recebimento de materiais que poderiam ser destinados à reciclagem/reuso. Além disso, ao elevar-se a taxa de reciclagem de 47% para 75% obteve-se uma redução de aproximadamente 39% no impacto relacionado à depleção fóssil. Indicando uma tendência em reduzir este impacto ao reinserir o material em seu ciclo de vida, diminuindo o consumo de combustíveis.

PALAVRAS-CHAVE: Análise bibliométrica, Análise do Ciclo de Vida, Reciclagem, Reutilização, Resíduos de vidro.

ABSTRACT

The increase in the consumption of bottled beverages and the need for packaging to meet the demand put us on alert regarding the impacts associated with the life cycle of glass, encompassing stages such as manufacturing and post-consumption disposal, demonstrating the importance of understanding which the strategies of reinsertion of this material in its production system in the country. Given the above, this work aimed to study the life cycle of glass bottles with emphasis on the post-consumption phase. Initially, a bibliometric study of works available in the Web Of Science database was carried out, about the strategies of reintegration of the material in the life cycle over the years in Brazil. The bibliometric analysis of the terms "life cycle assessment", "glass bottle", "waste glass bottle", "reuse", "recycling" and "waste", using the VOSviewer software, showed the lack of the country and Chemical Engineering on the subject, in which only 7 Brazilian publications have been published since 1993. There was an increase in publications globally on the topic from 2019, with Italy being the country that most contributed to the topic, becoming a highlight on the subject. Only from research and studies can new strategies for the reuse of the material emerge, which aim to contribute to the reduction of environmental impacts. Recycling brings savings, reduces CO₂ emissions, reduces energy consumption, waste and raw materials for the production of new materials. As it is the year of glass, according to the UN, it is expected that new recycling strategies and/or reinsertion of glass in other processes will emerge to help reduce raw material extraction. Then, the influence of the recycling rate (25%, 47% and 75%) on the impact potential associated with the glass bottle cycle was evaluated through a Life Cycle Analysis (LCA). ACV considered the stage of manufacture, distribution and destination of bottles for landfill or glass recycling, using the OpenLCA software and the Ecoinvent 3.7.1 APOS Unit Regionalized database. The study showed that the glass recycling rate directly influences the impact potential when compared to the current scenario in the country (47%). It is noteworthy that, by increasing the recycling rate from 47% to 75%, there was a reduction of approximately 42% in the potential for environmental impact related to the occupation of urban areas, demonstrating that recycling is a crucial factor for the maintenance and useful life of the sanitary landfills. Currently, sanitary landfills suffer from the high disposal of waste from large cities. This demand makes the landfill reach its maximum capacity quickly, which affects its useful life due to the receipt of materials that could be destined for recycling/reuse. In addition, increasing the recycling rate from 47% to 75% resulted in a reduction of approximately 39% in the impact related to fossil depletion. Indicating a tendency to reduce this impact by reinserting the material in its life cycle, reducing fuel consumption.

KEYWORDS: Bibliometric Analysis, Life Cycle Analysis, Recycling, Reuse, Waste glass.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação das embalagens	14
Figura 2 - Camadas da embalagem cartonada	15
Figura 3 - Valor bruto por segmento (em bilhões de reais).....	16
Figura 4 - Processo de fabricação do vidro	17
Figura 5 - Etapa de pré-molde e molde	18
Figura 6 - Ciclo de vida da garrafa de vidro.....	20
Figura 7 - Estrutura da ACV	21
Figura 8 - Economia Circular	23
Figura 9 - Reciclagem da cidade de São Paulo em 2021.....	26
Figura 10 - Benefícios ambientais	26
Figura 11 - Maneiras de reuso da garrafa de vidro.....	27
Figura 12 - Processo de reuso de garrafas retornáveis de vidro	28
Figura 13 - Acoplamento bibliográfico	33
Figura 14 - Delimitação da fronteira	35
Figura 15 - Documentos publicados por ano referentes aos termos " <i>life cycle assessment</i> " e " <i>glass bottle</i> " a partir da base WoS	39
Figura 16 - Países que mais pesquisaram sobre o tema.....	40
Figura 17 - Mapa bibliométrico de coocorrência de palavras-chave com termos de busca " <i>life cycle assessment</i> " e " <i>glass bottle</i> "	41
Figura 18 - Publicações referentes ao termo " <i>waste glass bottle</i> " a partir da base WoS	43
Figura 19 - Países que pesquisaram sobre o tema	43
Figura 20 - Mapa bibliométrico de coocorrência de palavras-chave com termo de busca " <i>waste glass bottle</i> "	44
Figura 21 - Documentos publicados por ano referentes aos termos " <i>glass bottle</i> " e " <i>reuse</i> " a partir da base WoS.....	45
Figura 22 - Países que pesquisaram sobre o tema	46
Figura 23 - Mapa bibliométrico de coocorrência de palavras-chave com termos de busca " <i>glass bottle</i> " e " <i>reuse</i> "	46
Figura 24 - Documentos publicados por ano referentes aos termos " <i>glass bottle</i> ", " <i>recycling</i> " e " <i>waste</i> " a partir da base WoS	47
Figura 25 - Países que pesquisaram sobre o tema	48

Figura 26 - Mapa bibliométrico de coocorrência de palavras-chave com termos de busca “ <i>glass bottle</i> ”, “ <i>recycling</i> ” e “ <i>waste</i> ”	49
Figura 27 - Documentos publicados por ano referentes aos termos “ <i>life cycle assessment</i> ”, “ <i>glass bottle</i> ”, “ <i>waste glass bottle</i> ”, “ <i>reuse</i> ”, “ <i>recycling</i> ” e “ <i>waste</i> ” a partir da base WoS	50
Figura 28 - Países que mais publicaram sobre o tema.....	50
Figura 29 - Mapa bibliométrico de coocorrência de palavras-chave com termos de busca “ <i>life cycle assessment</i> ”, “ <i>glass bottle</i> ”, “ <i>waste glass bottle</i> ”, “ <i>reuse</i> ”, “ <i>recycling</i> ” e “ <i>waste</i> ” ...	51
Figura 30 - Impactos ambientais causados por 1 tonelada de garrafa de vidro.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aplicação dos operadores booleanos	31
Tabela 2 - Dados de entrada e saída para a fabricação de 1 tonelada de garrafa de vidro	36
Tabela 3 - Dados de entrada e saída para a reciclagem de acordo com o cenário proposto.....	37
Tabela 4 - Impactos ambientais avaliados por cenário.....	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – ACV já feitas sobre o assunto **Erro! Indicador não definido.**

Quadro 2 - Estudos de novas destinações para as embalagens de vidro**Erro! Indicador não definido.**

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Siglas

ABNT	Agência Brasileira de Normas Técnicas
ABIVIDRO	Associação Brasileira das Indústrias de Vidro
ABRE	Associação Brasileira de Embalagem
ACV	Análise de Ciclo de Vida
AICV	Análise de Impacto do Ciclo de Vida
GCV	Gestão do Ciclo de Vida
IBICT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
ONU	Organizações das Nações Unidas
O-I Glass	<i>Owens-Illinois Glass</i>
PCV	Pensamento do Ciclo de Vida
PET	Polietileno Tereftalato
PLM	<i>Product Lifecycle Management</i>
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PVC	Policloreto de Vinila
RIS	Reciclômetro Inovação e Sistemas
SP	São Paulo

Símbolos

°C	Graus Celsius
ml	Mililitros

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
ABSTRACT	6
LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE TABELAS.....	9
LISTA DE QUADROS.....	10
LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....	11
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1. Embalagens para a indústria de bebidas.....	13
2.2. Processo produtivo da embalagem de vidro para bebidas.....	17
2.3. Avaliação do Ciclo de Vida	19
2.3.1. Estrutura metodológica.....	21
2.3.2. Gestão de ciclo de vida.....	22
2.3.2.1. Economia Circular	22
2.3.3. Ciclo de vida de uma garrafa de vidro.....	23
2.4. Embalagens vítreas pós-consumo.....	25
2.4.1. Reciclagem	25
2.4.2. Reuso	27
2.4.3. Pesquisas/estudos de novas destinações	28
2.5. Análise Bibliométrica	30
2.5.1. Leis da bibliometria	30
2.5.2. Bases de dados.....	31
2.5.3. Busca Booleana	31
2.5.4. Elaboração de redes	32
3. MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1. Análise Bibliométrica	34
3.2. Análise do Ciclo de Vida (ACV).....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
4.1. Análise bibliométrica.....	39
4.2. Análise ambiental.....	52
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
REFERÊNCIAS	58

1. INTRODUÇÃO

O vidro é uma das embalagens mais antigas para armazenagem de produtos, dentre eles as bebidas. Nos últimos anos, principalmente durante a pandemia, houve um aumento no consumo de bebidas e conseqüentemente, na utilização de materiais para a fabricação das embalagens. Assim registrou-se um acréscimo de 6,8% na produção de embalagens, comparado ao ano de 2020, e as embalagens de vidro representaram 23,7% deste aumento (ABRE, 2021).

Desta forma, subentende-se que há na cadeia como um todo, mais embalagens de vidro à disposição para envase, distribuição, descarte, reciclagem etc. Como consequência é necessário compreender os impactos que este tipo de material pode causar, sendo um fator crucial para auxiliar as empresas nas tomadas de decisões ou desenvolvimento de novas formas de reutilização ou novos modelos de negócios, entre outros.

O vidro apresenta tempo indeterminável de decomposição total, tornando-o assim um dos principais materiais candidatos a reciclagem/reuso. Observa-se que há uma necessidade em compreender como a reutilização ou a reciclagem deste material pode afetar ou, se realmente afeta, o potencial de impacto ambiental. Atualmente no Brasil, a taxa de reutilização para as garrafas de vidro retornáveis é de 20 vezes por ano, enquanto o índice de vidro reciclado no país varia entre 45 e 49% (AMARAL, 2021; AMBEV, 2021).

Para auxiliar na avaliação do potencial de impacto do vidro pode ser empregada a Análise do Ciclo de Vida. Esta análise tem como objetivo mensurar quais são os impactos ambientais causados pela fabricação ou utilização de certo produto ou serviço. A estrutura metodológica da Avaliação do Ciclo de Vida é composta pela definição do objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e por fim, a interpretação de resultados.

Na definição de objetivo e escopo é realizado o detalhamento do sistema, a delimitação da fronteira e a unidade funcional do produto ou serviço a ser estudado. Na etapa posterior, definida como análise de inventário, há a coleta de dados de entrada e saída das fases do ciclo de vida do produto ou serviço e avalia-se a relação deste com a unidade funcional, de acordo com as delimitações da fronteira. Depois, estas definições são convertidas em potenciais de impacto, ou seja, realiza-se a avaliação da intensidade em que estas afetam o meio ambiente. Por fim, na etapa de interpretação analisa-se os resultados e formula-se conclusões ou recomendações para mitigar os potenciais impactos ambientais.

Esta análise ajuda a compreender e avaliar o potencial de impacto no ciclo do produto estudado, ou seja, a garrafa de vidro. Outra metodologia pode servir de apoio para visualizar a evolução dos estudos acerca de um tema é a bibliometria. Tornando possível compreender se

há evoluções em pesquisas científicas ou estudos sobre a reinserção do vidro em seu ciclo de vida.

Diante do contexto apontado, o principal objetivo deste trabalho foi estudar o ciclo de vida das garrafas de vidro destinadas à indústria de bebidas no Brasil com ênfase na fase pós-consumo. Para isso foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Estudar as alternativas de reintegração deste material no ciclo de vida ao longo dos anos no Brasil através de um tratamento bibliométrico das pesquisas científicas;
- Avaliar a influência da taxa de reuso/reciclagem sobre o potencial de impacto associado ao ciclo da garrafa de vidro de indústrias de bebidas no Brasil, utilizando a Avaliação do Ciclo de Vida.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Embalagens para a indústria de bebidas

Existem diversos tipos de embalagens alimentícias, cada uma com sua particularidade. Porém, todas precisam desempenhar no mínimo as seguintes funções: proteção, conservação e informação (BARÃO, 2011).

As embalagens devem proteger o produto envasado durante o transporte, distribuição e manuseio assegurando que fatores externos não interfiram nestes alimentos causando deteriorações ou perda de qualidade. Ademais devem evitar que o produto seja adulterado. Por isso, as embalagens possuem sistemas de proteções, que podem evidenciar que o produto em si sofreu alguma adulteração (CABRAL *et al.*, 1984).

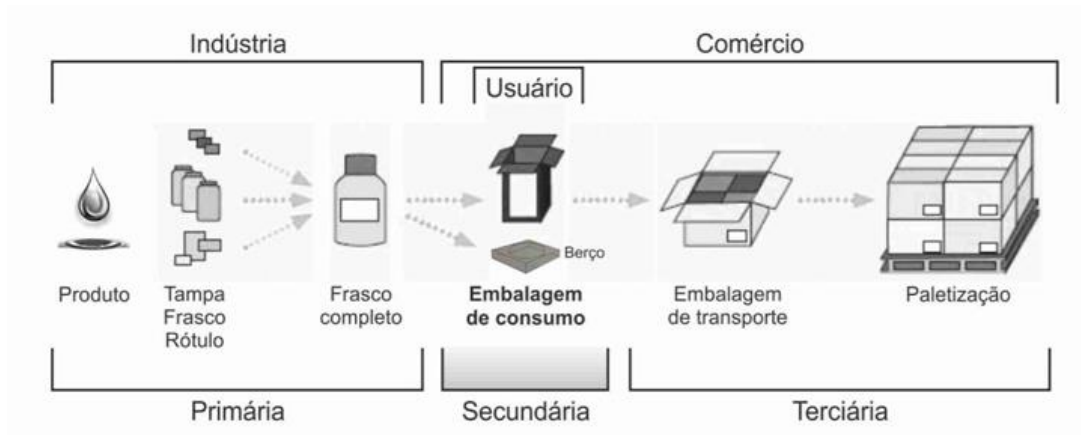
Além disso, as embalagens devem conservar os alimentos atuando como uma barreira protetora no controle de fatores relacionados à umidade do ambiente, ao contato do alimento com o oxigênio, à luz, microrganismos, impactos físicos e/ou fatores responsáveis por alterar a formulação química do alimento (BARÃO, 2011; JORGE, 2013).

Por fim, as embalagens devem informar o que consta dentro do recipiente. Estas informações são importantes tanto para os fabricantes, transportadores, comerciantes e clientes, pois a partir delas é possível descrever instruções de armazenamento, manuseio e composição do produto. Estes dados são de extrema valia para que a qualidade do produto seja assegurada e para que a embalagem cumpra completamente sua função.

Atualmente, as embalagens vêm desempenhando funções adicionais a partir de novas tecnologias. Uma destas funções pode desencadear no cliente uma vontade ou um desejo maior para comprar o produto, pois a partir de uma interação com o alimento, a embalagem pode comunicar ao consumidor que o produto está apto para consumo, tornando a experiência do cliente completa e fazendo-o consumir o produto no prazo correto (MESTRINER, 2001).

As embalagens podem ser apresentadas e separadas por níveis (CABRAL *et al.*, 1984). Na Figura 1 exemplifica-se como ocorre esta classificação. As embalagens primárias, são aquelas que entram em contato direto com o alimento, ou seja, é a embalagem responsável por conter o produto. As embalagens consideradas como secundárias são aquelas que estão em contato direto com as embalagens primárias. E por fim, as embalagens terciárias são aquelas que estão em contato com as embalagens secundárias, e podem ser denominadas como embalagens de transporte (JORGE, 2013).

Figura 1 - Classificação das embalagens



Fonte: Adaptado de Carvalho (2008)

A seguir, pode-se citar sucintamente alguns tipos de materiais que compõem as embalagens primárias do setor industrial de bebidas:

- Vidro: as garrafas de vidro são amplamente utilizadas para envasar, transportar e comercializar bebidas, as quais podem ser cervejas, refrigerantes, vinhos, água e licores (CABRAL *et al.*, 1984). As vantagens na utilização deste material englobam a elevada resistência à compressão vertical; a transparência da embalagem, o que permite que o consumidor veja as condições internas do recipiente; o vidro é inerte, ou seja, não reage com o produto envasado; e por fim, é um material 100% reciclável e reutilizável (BARÃO, 2011).

Mesmo com tantas vantagens, o vidro possui duas características que são consideradas como desvantagem, as quais se referem ao elevado peso do material e, é altamente quebrável, desta forma, existem cuidados a serem tomados para não danificar este tipo de embalagem (BARÃO, 2011).

- Plástico: as embalagens plásticas são amplamente empregadas nas indústrias alimentícias e, dentre os principais utilizados estão o policloreto de vinila (PVC) e o polietileno tereftalato (PET), cujos plásticos são utilizados nas indústrias de bebidas (BARÃO, 2011).

O PVC é utilizado para acondicionar água mineral e sucos. E algumas vantagens na utilização deste material, se encontra no envase de líquidos e ao fácil processamento do material; e, boa resistência ao impacto. Porém, como desvantagem este tipo de material possui uma baixa resistência térmica (JORGE, 2013).

O PET também é utilizado no envase de água mineral e no envase de refrigerantes. Ademais, além das vantagens já citadas para o PVC e que podem ser incluídas para o PET, uma vantagem extra na utilização deste material está na sua propriedade termoplástica, ou seja, o

PET pode ser reprocessado várias vezes, retornando para a etapa de envase de bebidas, sendo assim, um material reciclável (CABRAL *et al.*, 1984).

- Alumínio: as embalagens metálicas fabricadas com alumínio possuem a vantagem de serem leves, resistentes e apresentarem uma excelente barreira à radiação luminosa e gasosa. Por este motivo, são amplamente utilizadas no envase de cervejas e refrigerantes. Contudo, este tipo de embalagem apresenta uma desvantagem, a qual pode ocorrer através da interação com o líquido interno ou com a atmosfera externa da embalagem, ocorrendo assim a corrosão. Mesmo com esta desvantagem, este tipo de embalagem é amplamente utilizado, pois existem pesquisas e novas tecnologias que vêm sendo desenvolvidas para reduzir esta consequência (SOARES, 2013).

- Embalagem cartonada: as embalagens cartonadas, são amplamente empregadas na indústria de bebidas, no envase de leites (vegetal, aromatizado ou comum) e água de coco (Tetra pak®, [20--?b]). Este tipo de embalagem, conhecida como Tetra pak®, é fabricada com diversas camadas de materiais distintos, os quais podem ser observados na Figura 2.

Figura 2 - Camadas da embalagem cartonada



Fonte: Adaptado de Nascimento *et al.* (2007)

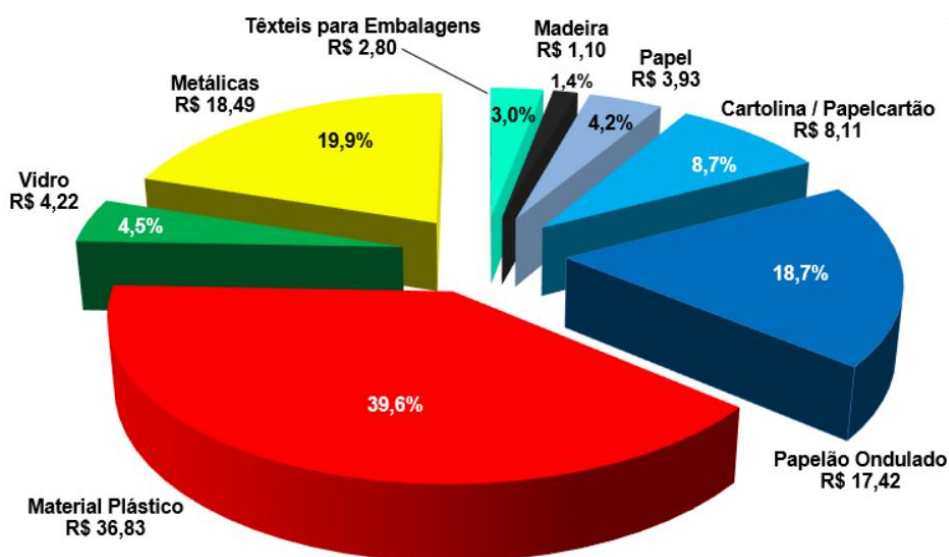
Cada camada atribui uma característica à embalagem, desta forma, o papel-cartão proporciona estabilidade e resistência, enquanto o polietileno protege contra a umidade permitindo que o papel-cartão grude na camada de alumínio. Por fim, a folha de alumínio

protege o produto contra as ações do oxigênio e da luminosidade, mantendo assim as características nutricionais e o sabor, mesmo em temperatura ambiente (Tetra pak®, [20--?a]).

As embalagens cartonadas possuem um peso baixo e são recicláveis. Sua composição não é delimitada, logo, podem existir outros modelos de Tetra pak® com camadas diferentes das descritas acima, ou apenas com uma organização diferente de camadas. Outra vantagem deste tipo de material está em sua resistência à baixas temperaturas (JORGE, 2013).

Na Figura 3 é mostrada a participação bruta por segmento de embalagens no ano de 2020. Houve um aumento de 22,3% no valor bruto da produção física de embalagens se comparado ao ano anterior, representando um montante de R\$92,9 bilhões (ABRE, [2021?]).

Figura 3 - Valor bruto por segmento (em bilhões de reais)



Fonte: ABRE ([2021?])

É possível observar na Figura 3 que as embalagens confeccionadas em material plástico representaram a maior parte da produção bruta de 2020, aproximadamente 40% do total. As embalagens de papelão ondulado, cartolina/papelcartão e papel juntas, somaram em torno de 32% e as embalagens metálicas representaram cerca de 20% (ABRE, [2021?]). As embalagens de vidro, por sua vez, representaram 4,5% do valor bruto total, porém, no segundo trimestre de 2021 este material teve um aumento em sua produção. A produção física de embalagens teve um aumento de 6,8% e as embalagens de vidro foram destaque, com um aumento de 23,7% sobre esta produção (ABRE, 2021). Demonstrando assim, uma maior disponibilidade na comercialização deste material.

2.2. Processo produtivo da embalagem de vidro para bebidas

Há três classificações para os tipos de vidro: vidro plano, vidro oco e vidro especial. O vidro plano é amplamente utilizado na indústria civil e automobilística, enquanto o vidro oco é altamente empregado na indústria voltada à produtos domiciliares e embalagens. Por fim, o vidro especial se diferencia dos outros tipos de vidro devido à sua composição e possui uma larga aplicação industrial na construção de equipamentos/fornos que envolvem calor (BNDES, 2007).

Existem algumas empresas que fabricam o vidro oco no Brasil: Nadir Figueiredo, Owens-Illinois Glass (O-I Glass), Schott do Brasil, Verallia, Vidraria Anchieta, Vidroporto e Wheaton (ABIVIDRO, [202-?]). Com uma unidade em São Paulo, a fábrica da O-I Glass já conta com uma etapa de reinserção de cacos de vidro em seu processo para a fabricação de novas embalagens de vidro. As quais são destinadas às fábricas de alimentos e bebidas para realizar a armazenagem e uma nova comercialização destes insumos (ABIVIDRO, 2019). O processo de fabricação das embalagens de vidro desta fábrica consiste em sete etapas, as quais podem ser observadas na Figura 4.

Figura 4 - Processo de fabricação do vidro



Fonte: Adaptado de O-I GLASS ([20--])

O vidro, possui uma composição básica de 70,5% de óxido de silício (areia), 14,0% de óxido de sódio (barrilha), 13,0% de óxido de cálcio, 1,5% de óxido de alumínio e 1,0% de óxido de magnésio (SHREVE; BRINK JR, 1997).

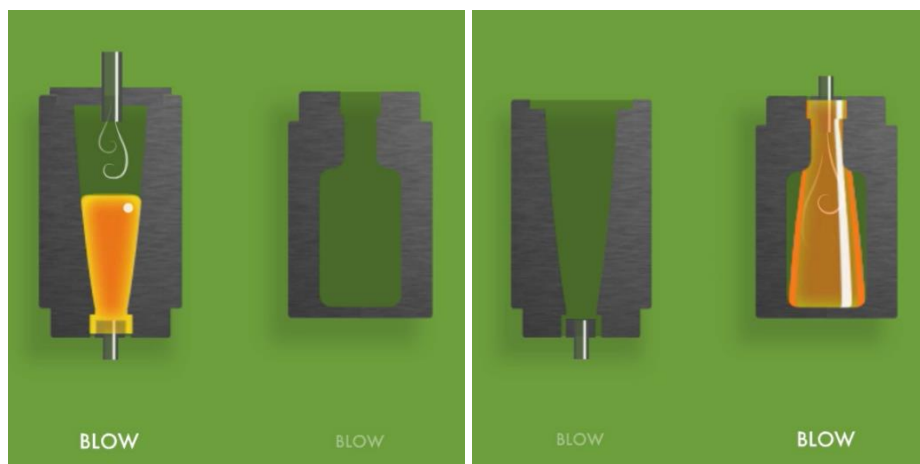
As matérias-primas possuem alguns atributos que favorecem a produção do vidro. A areia, influencia na transparência e na cor do vidro; o óxido de cálcio, estabiliza o vidro e o torna insolúvel; o óxido de sódio, reduz a temperatura em que a mistura se funde; e ao adicionar o caco de vidro na fabricação, há a redução na energia e na temperatura necessária para a produção do vidro. (O-I Glass, 2022).

Seguindo as etapas de processo, após a determinação dos ingredientes, a matéria-prima segue para o misturador, onde são misturados na presença de água morna ou vapor. Simultaneamente, adicionam-se agentes descolorantes, caso o vidro desejado seja o incolor. Ou, se a cor desejada for outra, outros tipos de agentes podem ser adicionados e/ou removidos para atribuir tal coloração ao vidro. Se nenhum descolorante for adicionado no misturador, o vidro obtido poderá ser amarelo ou verde, dependendo do teor de óxido de ferro presente nos ingredientes adicionados (O-I Glass, 2022).

Após este processo a mistura é destinada ao forno, o qual será responsável pela etapa de fusão. Na etapa de fusão, a mistura fica em torno de 24 horas dentro de um forno a uma temperatura de 1500 °C. Desta forma, a mistura se torna homogênea e poderá seguir para os moldes (VERALLIA, [202-?]).

Na etapa de conformação e moldagem, a mistura deixa de ser amorfa e se molda até tomar a forma final do recipiente. O vidro é soprado em dois momentos, na etapa de pré-molde e na etapa de molde de acabamento. Na Figura 5 ilustram-se estas etapas, em que na etapa de pré-molde o material é soprado, ou seja, o vidro é empurrado para baixo ocupando assim o espaço do molde. Nesta etapa, o vidro segue sendo assoprado até obter a forma final do recipiente (O-I Glass, 2022).

Figura 5 - Etapa de pré-molde e molde



Fonte: O-I Glass (2022)

Após obter a forma do recipiente, faz-se necessário a etapa de recozimento. Conforme seu nome diz, nesta etapa o vidro é reaquecido para aproximadamente 565 °C e é transportado, ao longo deste forno, através de uma esteira à medida que a temperatura vai sendo reduzida gradualmente, até que alcance 150 °C. O objetivo desta etapa é promover um alívio nas tensões sofridas pelo vidro, desta forma, ele tende a se tornar mais forte e resistente (O-I Glass, 2022).

Antes da expedição, as garrafas de vidro passam por um controle, denominado inspeção. Neste controle, são verificadas as qualidades das embalagens produzidas, e se estão dentro das conformidades para serem comercializadas (VERALLIA, [202-?]). A primeira parte desta etapa consiste em avaliar a resistência do vidro produzido com auxílio de um microscópio. Depois verifica-se a espessura do vidro. Por fim, é realizada a simulação de envase, em que a garrafa é submetida a um teste de resistência física e a simulação de adicionar a tampa da garrafa (ABIVIDRO, 2019).

Se na inspeção, a embalagem estiver fora dos padrões, seja vidro trincado, espessura irregular, coloração indesejada, resistência baixa etc., ela é automaticamente rejeitada. Os recipientes rejeitados retornam para o processo na forma de cascos de vidro, e são adicionados no primeiro processo, na etapa de mistura dos ingredientes. Se o recipiente for aprovado, ele segue para a etapa final, a qual se caracteriza com a montagem de lotes de produtos para serem destinados às empresas que os adquirir (O-I Glass, 2022).

Após todo o processo de fabricação, as garrafas de vidro são enviadas para as fábricas de bebidas para envasamento e assim, tornar o item apto a ser vendido. As maiores características das garrafas utilizadas para o envase de vinhos, cervejas e até sucos são que elas devem possuir uma tonalidade escura, pois quanto mais escura a embalagem for, maior proteção contra a ação do sol ela proverá. Desta forma, o líquido interno tenderá a não oxidar precocemente (JAIME; BÓCOLI; FARIA, 2018).

2.3. Avaliação do Ciclo de Vida

Com o passar dos anos, houve um aumento na conscientização global sobre problemas ambientais e/ou danos que ocorriam com o meio ambiente. A partir desta preocupação global, começaram-se a pensar em formas de identificar os impactos e neste contexto, nasceu a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). A empresa pioneira a realizar o estudo entendido como ACV foi a Coca-Cola, em 1965, o qual teve como objetivo avaliar o processo produtivo das embalagens de refrigerantes e qual embalagem emitia as menores emissões de gases e utilizariam menos recursos para a fabricação (IBICT, [2015?a]).

A ACV é uma técnica desenvolvida para mensurar os potenciais de impactos ambientais causados pela fabricação/utilização de certo serviço ou produto. A abordagem sistêmica da ACV é denominada como “*cradle-to-grave*” ou a tradução, “do berço ao túmulo”. Nesta abordagem são levantados dados em todos os processos/fases do ciclo de vida do produto, que engloba desde a extração da matéria prima até a disposição final do produto. Na Figura 6 ilustram-se as fases do ciclo de vida da garrafa de vidro, de modo que é possível observar que o ciclo do vidro pode ser infinito enquanto for destinado à reciclagem ou ao reuso e que seu ciclo termina, quando é destinado a aterros sanitários (COELHO, 2017).

Figura 6 - Ciclo de vida da garrafa de vidro



Fonte: Adaptado de Coelho (2017)

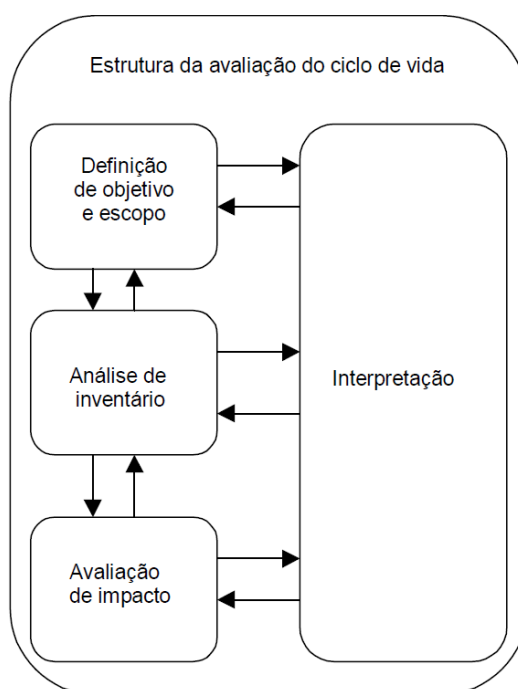
Ao aplicar a metodologia da ACV também pode-se analisar apenas uma parte do ciclo de vida do produto, como por exemplo o “*gate-to-gate*” da tradução “de portão a portão”, o qual analisa um processo em si, como por exemplo da entrada da fábrica até a saída dela. Por

sua vez, a fronteira “*gate-to-grave*” significa “da porta ao túmulo”, onde analisa do portão da fábrica, podendo ser de entrada ou saída até a destinação final do produto/serviço. Existem outras classificações que indicam a porção do ciclo de vida do produto ou atividade que será avaliada (FILHO; JUNIOR; LUEDEMANN, 2016).

2.3.1. Estrutura metodológica

Seguindo a norma ISO 14040, a estrutura metodológica da ACV é baseada em quatro fases: definição do objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação de resultados (ABNT, 2001). A Figura 7 ilustra as etapas da estrutura da ACV.

Figura 7 - Estrutura da ACV



Fonte: ABNT (2001)

Na Figura 7 observa-se que as etapas estão inter-relacionadas para que a ACV seja efetiva, ou seja, para que o estudo seja completo o exato desenvolvimento de cada fase torna-se crucial (VALT, 2004). A primeira etapa, denominada como definição de objetivo e escopo, consiste no detalhamento do sistema do produto a ser estudado, na delimitação da fronteira e a unidade funcional (HAUSCHILD, 2005).

A etapa de análise de inventário, consiste em coletar os dados de entradas e saídas das fases do ciclo de vida do produto de estudo e avaliar a relação destes com a unidade funcional adotada, dentro das delimitações da fronteira (IBICT, [2015?b]).

Na sequência, a avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV), consiste em converter as definições realizadas na etapa anterior em potenciais de impacto ambiental, ou seja, avaliar a intensidade em que estes impactos afetam/alteram o meio ambiente (IBICT, [2015b?]).

Por fim, a quarta etapa, denominada interpretação, é referente a analisar os resultados e formular conclusões/recomendações para mitigar os impactos ambientais que potencialmente são gerados pelo sistema. Nesta fase, as incertezas também são levadas em consideração e são avaliadas no que tange a qualidade dos resultados (HAUSCHILD, 2005).

A ACV vem sendo desenvolvida e atualizada ao longo dos anos. Sempre em busca de avanços e melhorias sobre o desempenho ambiental de produtos, processos e atividades. No Brasil, existe o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), voltado a promover o desenvolvimento da metodologia da ACV e do pensamento do ciclo de vida (PCV) no país (IBICT, [2015?]).

2.3.2. Gestão de ciclo de vida

A gestão do ciclo de vida (GCV) ou *product lifecycle management* (PLM) é um tema abrangente e pode ser abordado por diversas áreas de estudo, como por exemplo engenharia, administração de empresas e *marketing*. E por ser um tema de abordagem ampla, resultou em diversas visões sobre o ciclo de vida dos produtos (ZANCUL; ROZENFELD, 2009).

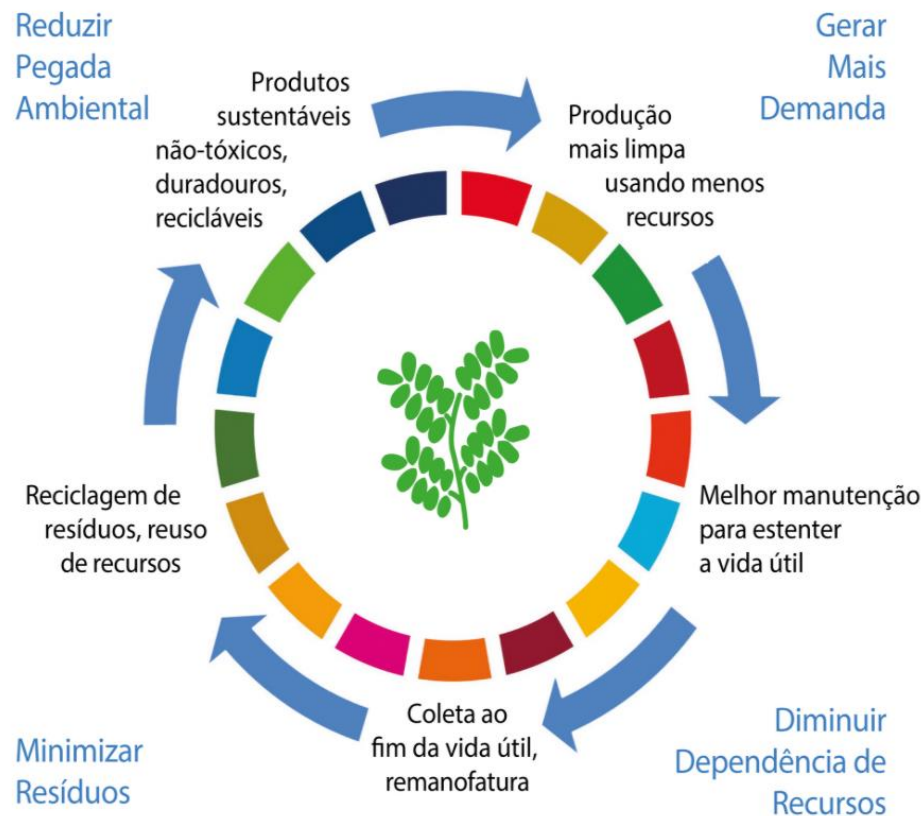
A GCV permite avaliar o desempenho ambiental de um produto referente a todo o processo de vida deste, ou seja, do berço ao túmulo, empregando a ACV. É altamente utilizada por diversos países, para auxiliar na formulação de políticas públicas e, por diversas empresas do setor privado, para desenvolvimento de estratégias de negócios, melhoramento de processos ou produtos e, para as ações de *marketing* da empresa (EMBRAPA, 2016).

2.3.2.1. Economia Circular

Centralizando o assunto da GCV na engenharia, com foco na visão de gestão ambiental, pode-se citar a economia circular. A economia circular nasceu a partir do pensamento de reutilizar a reciclar o máximo de vezes possível os recursos, ao invés de extrair materiais virgens. Desta forma, na economia circular, utiliza-se os recursos pelo maior tempo possível, extraíndo seu valor máximo enquanto utilizado. Ou seja, o objetivo principal desta economia é promover um controle mais eficiente de todos os recursos naturais, assegurando um crescimento econômico com menor dependência dos recursos naturais e visando um desenvolvimento sustentável (KARASKI *et al.*, 2016; VICKERS, 2019).

Na Figura 8, ilustra-se como a economia circular atua para reduzir a pegada ambiental, gerar mais demanda, diminuir a dependência de recursos e minimizar os resíduos.

Figura 8 - Economia Circular



Fonte: VICKERS (2019)

A aplicação da economia circular pelas indústrias brasileiras segue a Lei nº 12.305/10, que demanda um gerenciamento dos resíduos produzidos. Esta lei é conhecida como Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e ela cita que todos os envolvidos na geração de resíduos sólidos, se tornam responsáveis no gerenciamento destes (BRASIL, 2010). E, no capítulo 2.4 será abordado o artigo 33 desta lei.

2.3.3. Ciclo de vida de uma garrafa de vidro

No Quadro 1 são apresentados estudos de ACV já realizados sobre o ciclo de vida da garrafa de vidro destacando-se as principais conclusões que alguns autores obtiveram ao analisar diferentes unidades funcionais e fronteiras do sistema.

Quadro 1 - ACV já feitas sobre o assunto

Autor	Unidade funcional	Fronteira do sistema	Principais conclusões
MATA (1998)	Garrafa de cerveja de 0,33 L de bebida retornável e não retornável	Portão ao portão (<i>gate-to-gate</i>)	A garrafa retornável possui impactos ambientais mais elevados: gera mais poluentes, é mais pesada, utiliza mais água e gera mais resíduos sólidos. Porém espera-se que ao reutilizar várias vezes (alcançar o ciclo completo) ela se torne mais vantajosa do ponto de vista ambiental. É vantajoso reciclar e reutilizar os cacos no processo de fabricação.
VALT (2004)	Garrafas de vidro de 290 mL e massa de 386,2 g. Considerando 1000 L de capacidade de envase, correspondendo a 3448 garrafas de vidro.	Berço ao berço (<i>cradle-to-cradle</i>)	A reciclagem da garrafa de vidro aumenta o consumo de água e emissão de efluentes líquidos em 12 kg. Ponto de melhoria, reaproveitamento de água de lavagem das garrafas.
FABI; ENSINAS; MACHADO; BIZZO, (2005)	Garrafas de PET e Vidro com 600 mL, considerando 1000 L de bebida, totalizando 1666 embalagens.	Portão ao túmulo (<i>gate-to-grave</i>)	A utilização da garrafa de vidro torna-se vantajosa para distâncias curtas (até 175 km) contando com distribuição ao consumidor e destinação final. Enquanto a garrafa PET, torna-se vantajosa para distâncias superiores.
PRADO (2007)	Garrafas de vidro de 290 mL, quantidade de embalagens para 1000 L, 3448 unidades.	Berço ao berço (<i>cradle-to-cradle</i>)	A garrafa de vidro contribui negativamente para o meio ambiente. Apresenta o pior cenário no consumo de recursos naturais e energia.
COELHO (2017)	Garrafa de vidro de 750 mL, pesando 386 gramas.	Berço ao portão (<i>cradle-to-gate</i>)	Ao comparar duas unidades fabris verificou-se que uma fábrica emitia mais gases poluentes na atmosfera (CO ₂ , SO ₂ e NO _x) que a outra. E, nas categorias de consumo de água e escassez de recursos, houve variações de 15% de impacto entre elas. Concluindo que a ACV não deve ser a única ferramenta utilizada para tomadas de decisões/estratégias.

A partir do apresentado no quadro, observa-se que antes dos anos 2000 já era aconselhado a reutilização e/ou reciclar os cacos de vidro. E com o passar dos anos, a recomendação vem sendo seguida pelas indústrias fabricantes de vidro para bebidas. Com o passar do tempo e com a realização de novas ACV, foi verificado que existem vantagens em reutilizar e/ou reciclar o vidro para distâncias curtas (até 175 km) e, que sejam próximas do

consumidor que fez a utilização desta embalagem. E, pode existir diferenças de impactos ambientais entre duas indústrias que fabricam o mesmo material.

2.4. Embalagens vítreas pós-consumo

A lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010 dispõe sobre a gestão e gerenciamento de resíduos sólidos no país, impondo responsabilidades aos responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração destes resíduos e as pessoas que desenvolvem qualquer atividade relacionada ao gerenciamento destes (BRASIL, 2010). Um dos princípios desta lei, está na adoção da logística reversa para os produtos produzidos após a utilização pelos consumidores. Permitindo que diversos resíduos sólidos pudessem ser retornados ou destinados, incluindo as embalagens vítreas (FRANÇA; BINDERMAN; CAMPOS, 2020).

O Art. 33 da PNRS impõe a obrigação dos fabricantes de produtos, comerciantes, distribuidores e importadores, de estruturar o retorno destes para seu ciclo produtivo agregando valor de natureza econômica, ecológica e social, sendo denominado como logística reversa (CRUZ, 2021). Este artigo ainda prevê que o setor privado e o poder público podem atuar em conjunto para que a logística reversa e o ciclo do material seja retomado (BRASIL, 2010). Em São Paulo (SP), existe este tipo de parceria, sendo que de acordo com o §7º o poder público deve ser devidamente remunerado, em caso de se utilizar o serviço público de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos para realização da logística reversa (BRASIL, 2010). No programa Recicla Sampa, a parceria promove a coleta de materiais recicláveis, dando a destinação à centros de reciclagem e após a separação, o setor privado pode recomprar este material para reinserir em seus processos através de leilões (RECICLA SAMPA, [S.I]).

De acordo com a ABNT 10004/04, o vidro é considerado um material inerte e classificado como resíduo não perigoso inerte (Classe II B). Assim sendo, pode ser depositado em aterros sanitários. Caso fosse um resíduo perigoso, a incineração poderia ser recomendada, como é o caso de vidros utilizados com materiais potencialmente infectantes, em hospitais e laboratórios patogênicos (VGR, [2021]). Portanto, o resíduo vítreo das embalagens de bebidas pode ser enviado a aterros, mas se esta for a destinação final, o material não será reinserido no seu ciclo.

2.4.1. Reciclagem

Há um diferencial muito competitivo para a embalagem de vidro, se comparada às demais. O vidro é um material 100% reciclável, ou seja, uma garrafa de vidro utilizada por um consumidor sendo posteriormente coletada e enviada para reciclagem, poderá tornar-se uma

nova garrafa de vidro e ser reinserida no processo. Ou seja, o vidro possui um ciclo fechado e sem nenhuma perda associada (REGI, 2012).

No Brasil, os dados sobre a reciclagem do vidro são imprecisos e o índice de reciclagem varia entre 45 e 49%. Na cidade de São Paulo em 2021, foram recicladas aproximadamente 32.570 toneladas de resíduos sólidos. Na Figura 9 é apresentada a distribuição por tipo de resíduo coletado e reciclado para o ano de 2021 (AMARAL, 2021; RIS, 2021).

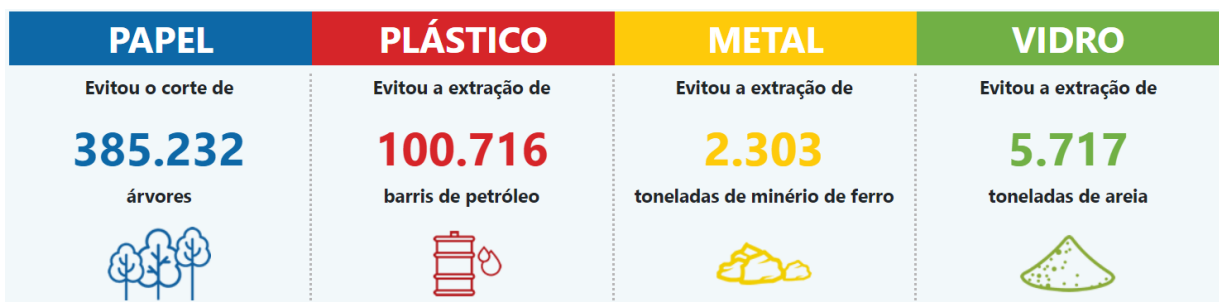
Figura 9 - Reciclagem da cidade de São Paulo em 2021



Fonte: RIS (2021)

Como pode ser visto na Figura 9, a reciclagem de vidro foi de aproximadamente 4.400 toneladas. Assim, evitou-se a extração de mais de 5.700 toneladas de areia que seriam necessárias para a fabricação do vidro como mostrado na Figura 10. A energia economizada para produzir garrafas de vidro a partir de vidro reciclado é de 70%, em comparação à fabricação de garrafas de vidro a partir de fontes primárias (WWF-BRASIL, 2008).

Figura 10 - Benefícios ambientais



Fonte: RIS (2021)

Existem diversos benefícios para a realização da reciclagem dos resíduos, dentre eles podem-se destacar (RIS, 2019):

- Benefícios ambientais: redução na extração de recursos naturais; diminuição na emissão de poluição no solo, água e ar; economia de água e energia; prolonga a vida de aterros sanitários etc.
- Benefícios econômicos: reduz gastos de limpeza urbana; reduz os custos de produção etc.
- Benefícios sociais: geração de renda para catadores e cooperativas; prevenção de enchentes; educação ambiental à população etc.

2.4.2. Reuso

O vidro pode ser reutilizado de diversas maneiras, ou seja, pode servir para outros fins que não seja apenas para envasar líquidos (PRADO, 2007). As garrafas de vidro podem ser reutilizadas pelo consumidor final em luminárias, abajures, porta-trecos, copos, tochas etc. Basta possuir imaginação e criatividade para descobrir novas maneiras de decorar e reutilizar (MD VIDROS, 2019). Na Figura 11 ilustram-se maneiras de reuso das garrafas de vidro e que podem ser realizadas pelo consumidor final.

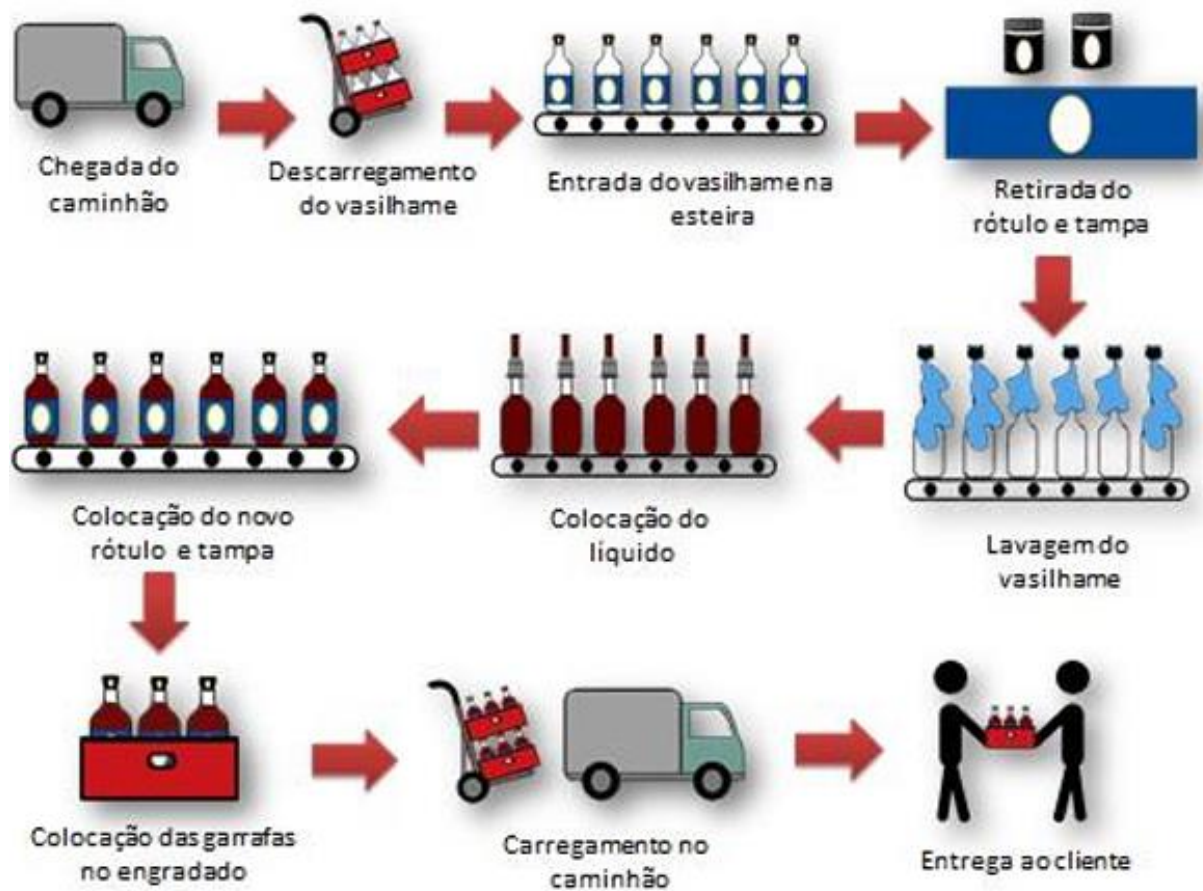
Figura 11 - Maneiras de reuso da garrafa de vidro



Fonte: Decorando Casas (2016)

Na visão industrial a reutilização significa que a reinserção da embalagem no seu ciclo de vida após desinfecção ou refabricação, de modo que a mesma pode ser retornada para o processo de envase e depois ser comercializada novamente (MATA, 1998). A AMBEV do Rio de Janeiro tem investido na fabricação de embalagens de vidro retornáveis e estas embalagens podem ser reutilizadas diversas vezes, em torno de 20 vezes ao ano. A utilização deste tipo de garrafa, implica numa diminuição na necessidade de fabricar mais garrafas de vidro para envase de bebidas (AMBEV, 2021). A Figura 12 ilustra este processo de reuso.

Figura 12 - Processo de reuso de garrafas retornáveis de vidro



Fonte: Martins; Almeida; Souza (2015)

2.4.3. Pesquisas/estudos de novas destinações

A garrafa de vidro, além de reprocessada e reinserida no seu ciclo para um novo envase, pode ser destinada a outros locais/indústrias para uso distinto. No quadro 2 foram sintetizados estudos realizados com o intuito de encontrar novas destinações e/ou detectar melhorias de aplicabilidade, após a utilização da garrafa de vidro pelo consumidor final.

Quadro 2 - Estudos de novas destinações para as embalagens de vidro

Autor	Título do estudo/pesquisa	Principais conclusões
IBRAHIM; MEAWAD (2018)	<i>Assessment of waste packaging glass bottles as supplementary cementitious materials.</i>	Os resíduos provenientes de embalagens de vidro são seguros e recomendados para a aplicação como complemento/substituição a materiais cimentícios.
SEPURA (2017)	<i>Filter media success from recycled glass.</i>	Neste estudo desenvolveu-se um filtro fabricado a partir de garrafas de vidro recicladas projetado para absorver óleos, combustíveis e hidrocarbonetos da água patenteado pela Bowman e denominado SILEXA.
LORDELO (2018)	Avaliação da utilização de resíduo de vidro de garrafas na produção de argamassa.	Substituição de 30% da areia <i>in natura</i> para a produção de argamassa, a partir da reutilização do resíduo de garrafas de vidro.
ARMELLINI; FERNANDES (2004)	Utilização da sucata de vidro para a produção de novos produtos.	Apresentaram-se avanços sobre a reinserção do vidro para a produção de outros produtos, como por exemplo, vidro moldado. Como os resultados alcançados ainda não foram satisfatórios, sugeriu-se continuar o estudo testando novos materiais para a confecção dos moldes.
MARTINS <i>et al.</i> (2017)	Análise do desempenho do bloco de solo-cimento considerando variações na quantidade de resíduo de vidro embalagens não retornáveis.	Utilizando o vidro residuário na fabricação de materiais para a construção civil, as características estruturais foram mantidas. Indicando que a possibilidade de reinserção dos resíduos do vidro é viável, desde que existam estudos/pesquisas.
CARMO <i>et al.</i> (2018)	Caracterização da resistência à compressão uniaxial de concreto com substituição parcial de cimento <i>portland</i> por vidro sodo-cálcico moído	Seguindo um teor de substituição de 10%, obteve-se um resultado satisfatório na resistência à compressão. Desta forma, é possível reduzir o consumo de cimento para a fabricação de concreto e viabilize uma utilização para o vidro que seria descartado.

Como pode ser notado a partir do quadro 2, há uma ampla variedade de estudos de reaproveitamento do resíduo vítreo principalmente voltados à indústria civil, devido à fabricação de cimento/concreto. Estes estudos vêm sendo realizados para encontrar novas formas de aplicá-lo, sem alterar as características atuais dos materiais/produtos já fabricados. Tendendo apenas a uma substituição para que estes produtos possam continuar a sua produção e reduzir os impactos ambientais associados à esta fabricação (CARMO et al., 2018; LORDELO, 2018; e, IBRAHIM; MEAWAD, 2018).

2.5. Análise Bibliométrica

Bibliometria, ou análise bibliométrica, é uma técnica estatística e quantitativa para medir os índices de desenvolvimento e divulgação de conhecimentos científicos. Foi originalmente denominada como “bibliografia estatística”, em 1923 por Hulme e em 1934 ficou conhecida como bibliometria. Porém, apenas em 1969 que o termo se tornou popular após a publicação de um artigo de Pritchard (ARAÚJO, 2006).

Com o passar dos anos, as análises bibliométricas foram aperfeiçoadas e passaram a possuir uma importante participação nas pesquisas e produções científicas. A partir da utilização da internet como meio de divulgação de pesquisas/estudos, resultou-se em uma bibliometria mais ampla, capaz de mensurar e mapear o comportamento de publicações de uma determinada área de atuação ou estudo. Elaborando assim, estratégias para compreender os efeitos que um estudo causa sobre a sociedade (AMORIM, 2012). Ou para determinar se tal assunto vem sendo citado/estudado ao longo dos anos.

2.5.1. Leis da bibliometria

A bibliometria envolve uma combinação de princípios e leis, aplicados a métodos estatísticos propondo-se o mapeamento da produtividade científica de autores, periódicos etc. e, independente do suporte, podendo ser eletrônico ou impresso (AMORIM, 2012). As leis básicas da bibliometria, que são:

- Lei de Bradford: ou a lei da dispersão, estima a relevância que os periódicos possuem sobre temas/assuntos específicos, e o critério de análise é definida pela reputação do periódico (JÚNIOR et al., 2014; CHUEKE; AMATUCCI, 2015).

- Lei de Lotka: conhecida também como a lei do quadrado inverso, analisa a contribuição que cada autor realiza em sua área de conhecimento, e o critério da análise é definido pelo tamanho/frequência (CHUEKE; AMATUCCI, 2015; RODRIGUES; VIERA, 2016);

- Lei de Zipf: descreve a relação entre palavras em um texto e, que a repetibilidade desta palavra tem relação com o assunto do documento e, o critério da análise é definida a partir de uma lista ordenada de temas (ARAÚJO, 2006; CHUEKE; AMATUCCI, 2015).

2.5.2. Bases de dados

A base de dados é um fator crucial para aplicar a análise bibliométrica, sendo recomendado utilizar-se bases que possuam patentes e/ou publicações confiáveis como as bases SCOPUS e *Web of Sciences* (WoS) (YOSHIDA, 2010). Há a possibilidade de combinar bases de dados para obter uma maior quantidade de dados e fontes.

2.5.3. Busca Booleana

Ao realizar a análise bibliométrica, deve-se ter cuidado nas buscas nas bases de dados com a utilização de palavras-chave. Os operadores booleanos quando aplicados, podem ampliar ou reduzir os resultados para uma determinada pesquisa (CHUEKE; AMATUCCI, 2015).

Na base da WoS, a utilização de letra maiúscula/minúscula não interfere nos resultados pesquisados. Porém, os operadores booleanos interferem e existem algumas formas de aplicá-los (CLARIVATE, 2020). Na Tabela 1 é mostrado como aplicar os operadores booleanos.

Tabela 1 - Aplicação dos operadores booleanos

(continua)

Operador de pesquisa	Condição	Exemplo
<i>And</i>	Encontra registros contendo todos os termos.	Vidro e reuso <i>Glass and reuse</i>
<i>Or</i>	Encontra registros que contém um dos termos.	Vidro ou vítreo ou vítreas <i>Glass or vitreous or vitreous</i>
<i>Not</i>	Use este operador para excluir os registros que contenham certos termos.	Vidro não cimento <i>Glass not cement</i>
<i>Near/x</i>	Permite um máximo de palavras entre os termos (de 1 a 15 palavras)	Vidro perto/4 bebidas → recupera: bebidas engarrafadas em vidro <i>Glass near/3 drinks → recover: glass bottled drinks</i>

(continuando)

Operador de pesquisa	Condição	Exemplo
<i>Same</i>	Pelo campo endereço: encontra termos na mesma linha que o endereço	São Paulo igual SP
	Pelo campo tópico e título: recupera os mesmos resultados que <i>and</i> .	São Paulo <i>same</i> SP
()	Utilizado para agrupar operadores de pesquisas compostos	(garrafa* e vidro*) não cimento → encontra registros que contenham garrafa(s) e vidro(s) e exclui os que contêm cimento (<i>bottle* and glass*</i>) not cement → <i>finds records that contain bottle(s) and glass(es) and excludes records that contain cement</i>

Fonte: Adaptado de Clarivate (2015)

Existem outros símbolos que ao serem utilizados atribuem algumas características aos termos procurados, por exemplo (CLARIVATE, 2015):

- * = Auxilia nos prefixos/sufixos e plurais → Vidro* recupera: Vidros e vidro;
- ? = Útil para palavras em que desconhece o caractere → Bra?il recupera: Brasil e *Brazil*;
- “ ” = Útil para palavras compostas → “engenharia química”

2.5.4. Elaboração de redes

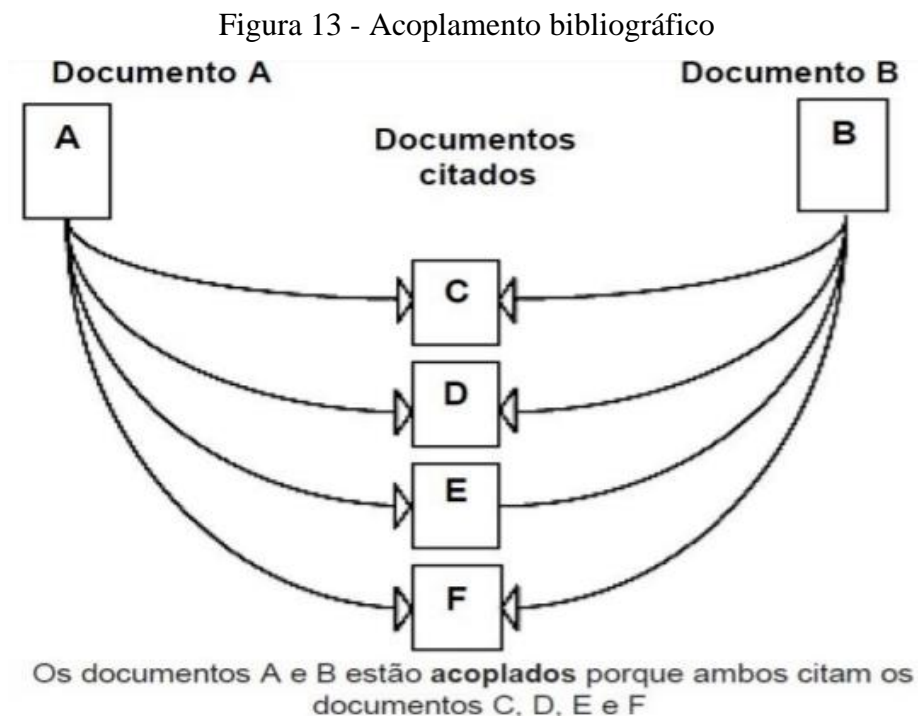
Uma análise bibliométrica envolve ainda a elaboração de redes que mostrarão de forma visual as conexões que existem, ou não, entre os termos pesquisados nas bases de dados e quais relações/colaborações estes tendem a possuir (SAMPAIO, 2015). A seguir, resume-se algumas análises que podem ser feitas para a elaboração de redes.

- **Análise de coocorrência de palavras-chave:** leva em consideração a quantidade de vezes que as palavras-chave coexistem em um conjunto de pesquisas/estudos. Ou seja, mostra a repetibilidade da palavra-chave em um período e entre escritores (DE BELLIS, 2009).

- **Análise de cocitação:** mede a relação que existe entre dois artigos a partir da citação deles em uma outra publicação. Ou seja, são analisados a partir do aparecimento de ambos em um terceiro trabalho simultaneamente (CABRINI, 2016).

- **Análise de coautoria:** leva em consideração o envolvimento de dois ou mais autores/pesquisadores/organizações acerca de um determinado assunto, porém, com um objetivo em comum (SAMPAIO, 2015).

- **Acoplamento bibliográfico:** mede a relação que há entre dois artigos com base nas similaridades de suas referências, ou seja, referências que foram citadas em ambos os artigos (CABRINI, 2016). A Figura 13 ilustra como é realizada a relação entre estes dois artigos.



Fonte: Cabrini, 2015

3. METODOLOGIA

Este trabalho teve como objetivo principal estudar o ciclo de vida das garrafas de vidro destinadas à indústria de bebidas no Brasil com ênfase na fase pós-consumo. Conforme detalhamento a seguir, a primeira etapa consistiu em um levantamento bibliométrico sobre a ACV das garrafas de vidro, reutilização e reciclagem, com ênfase nas contribuições das engenharias e das publicações realizadas pelo Brasil. Em seguida, realizou-se uma ACV para identificar e comparar os impactos ambientais das garrafas de vidro de bebidas pós consumo e de acordo com a destinação, reciclagem ou reuso.

3.1. Análise Bibliométrica

Para executar a análise bibliométrica, fez-se necessário construir um banco de dados a partir de documentos obtidos através de uma base. Desta forma, a base de dados escolhida foi a *Web of Science* e, a elaboração de quatro bancos de dados foi efetivada pesquisando-se termos específicos a partir do título, resumo e palavras-chave de documentos publicados.

Inicialmente pesquisaram-se os termos “*life cycle assessment*” e “*glass bottle*”, seguido da pesquisa do termo “*waste glass bottle*”, depois novas variações de termos envolvendo as garrafas de vidro foram realizadas, como “*glass bottle*” e “*reuse*” e por fim, “*glass bottle*”, “*recycling*” e “*reuse*”. Para todos os casos foram filtradas as publicações a nível global e aquelas realizadas pelo Brasil, para atender o objetivo do trabalho.

Após a obtenção dos bancos de dados, foi possível analisar o material bibliográfico com o auxílio de programa editor de planilha. Os quatro bancos de dados foram analisados igualmente seguindo critérios como ano de publicação, país de origem e quantidades de citações do documento em todas as bases de pesquisas. Com o intuito de analisar todos os termos de modo geral, construiu-se um novo banco de dados com um compilado de todas as publicações já realizadas e excluiu-se as duplicatas através do programa editor de planilha. Esta nova base passou por uma nova análise, seguindo os mesmos critérios realizados pelas outras bases.

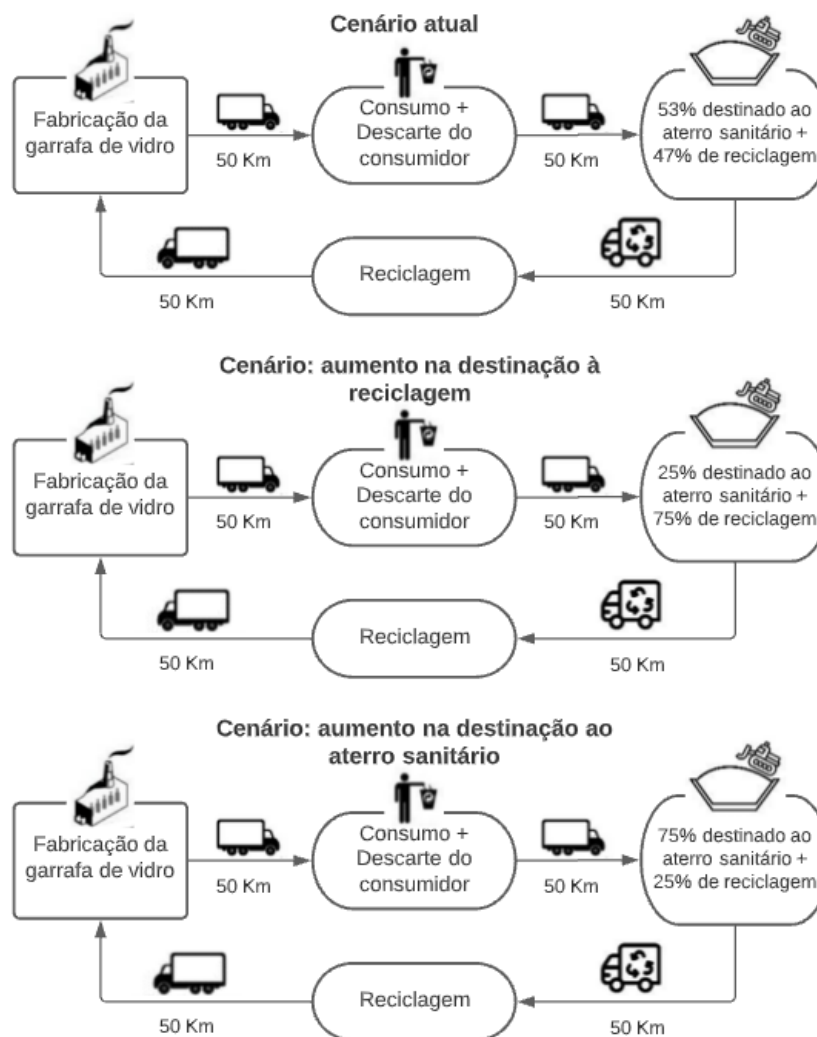
Para elaborar as análises de coocorrência de palavras-chave foi necessária a utilização do aplicativo computacional *VOSviewer*. Construíram-se então mapas bibliométricos de visualização de rede, permitindo identificar as relações existentes entre os termos das bases de dados e a recorrência destas nos documentos publicados.

3.2. Análise do Ciclo de Vida (ACV)

Para avaliar os aspectos ambientais envolvidos no ciclo das embalagens de vidro para bebidas e comparar o fim da vida do produto e sua reinserção no ciclo, realizou-se a execução da Avaliação do Ciclo de Vida com o auxílio do *software OpenLCA*. Na primeira etapa da ACV, realizou-se a definição de objetivo e escopo. Como o objetivo geral deste trabalho foi estudar estratégias de reinserção das garrafas de vidro pós-consumo no sistema de produção na indústria de bebidas, assumiu-se que a função do sistema de produto é produzir garrafas de vidro para a indústria de bebidas, assim considerou-se a unidade funcional de 1000 kg desta embalagem produzida.

No sistema de produto, considerou-se o trajeto de envio para o consumidor, o descarte final ou a reinserção/reciclo no processo, em que a distância foi padronizada em 50 km para cada etapa. Na Figura 14, é ilustrada a delimitação da fronteira para o sistema “*gate-to-grave*” ou, do portão ao túmulo, onde mostram-se as taxas atribuídas para cada cenário.

Figura 14 - Delimitação da fronteira



Fonte: Do autor (2022)

Para a construção do inventário deste estudo, utilizou-se o banco de dados “*Ecoinvent 3.7.1 APOS Unit Regionalized*” com a licença concedida para uso educacional em um país não pertencente a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) em conjunto com o trabalho de Prado (2007). A região delimitada para os processos, como não existiam exclusivamente para o Brasil, utilizaram-se àqueles referentes à RoW (do inglês, *Rest-of-the-World*), que é a média válida para todos os países do mundo com a incerteza ajustada.

Na análise do inventário, coletaram-se os dados para a fabricação de 1 tonelada de garrafa de vidro, desconsiderando os agentes colorantes ou descolorantes. Na Tabela 2, é apresentada a composição da garrafa de vidro para o sistema.

Tabela 2 - Dados de entrada e saída para a fabricação de 1 tonelada de garrafa de vidro

Entrada	Valor	Unidade
Água	89,4000	Kg
Lenha	10,4000	Kg
Energia	820,0000	MJ
Vidro	1100,0000	Kg
Transporte	37,7500	Kg
GLP	5,2000	Kg
Saída	Valor	Unidade
CO	0,8690	Kg
CO ₂	28,1000	Kg
NO ₂	0,0765	Kg
NO _x	0,6776	Kg
Material Particulado	0,1176	Kg
SO ₂	0,0803	Kg
HC	0,1390	Kg
Água residuária	89,4000	Kg
Resíduo industrial	123,2900	Kg
BALANÇO GLOBAL		
Garrafa de vidro	1000	Kg

Fonte: Elaboração própria com base em Prado (2007)

Como o intuito deste trabalho foi avaliar a influência da reciclagem de garrafas de vidro pós consumo no potencial de impacto ambiental da cadeia, na Tabela 3 são apresentados os

dados referentes aos cenários propostos. No cenário atual do país, 47% das garrafas de vidro são recicladas, no segundo cenário considerou-se um aumento na taxa de reciclagem para 75% e, no terceiro cenário considerou-se uma inversão da taxa da reciclagem com a destinação final ao aterro sanitário, desta forma, foi considerada uma taxa de reciclagem de 25%.

Tabela 3 - Dados de entrada e saída para a reciclagem de acordo com o cenário proposto

Entrada	Cenário			Unidade
	<i>Atual</i>	<i>75% de reciclagem</i>	<i>25% de reciclagem</i>	
Água	138,556	221,100	73,700	Kg
Lenha	13,047	20,820	6,940	Kg
Energia	8037,000	12825,000	4275,000	MJ
Óxido de cromo	1,170	1,868	0,623	Kg
Transporte	4,907	7,830	2,610	Kg
Garrafa/cacos	494,440	789,000	263,000	Kg
NaCl	4,554	7,268	2,423	Kg
Saída	<i>Atual</i>	<i>75% de reciclagem</i>	<i>25% de reciclagem</i>	Unidade
CO	0,134	0,215	0,072	Kg
CO ₂	2,660	4,245	1,415	Kg
NH ₃	0,003	0,005	0,002	Kg
VOC	0,016	0,026	0,009	Kg
NO ₂	0,008	0,014	0,005	Kg
NO _x	0,105	0,167	0,056	Kg
Material Particulado	0,503	0,803	0,268	Kg
SO ₂	0,007	0,011	0,004	Kg
HC	0,013	0,020	0,007	Kg
Água residuária	138,556	221,100	73,700	Kg
NH ₃	2,195	3,503	1,168	Kg
Cinzas	0,230	0,368	0,123	Kg
Sólidos industriais	40,801	65,108	21,703	Kg
Material inerte	1,443	2,303	0,768	Kg

Fonte: Elaboração própria com base em Prado (2007)

Assim, as saídas dos produtos para o reciclo foram de 470, 750 e 250 kg de vidro, sendo que o restante do material seguiu para o aterro sanitário, utilizando o processo *waste glass* para

tratamento de resíduos de vidro, aterro de material inerte da base utilizada. As entradas de energia do processo tiveram como *provider* o *electricity, high voltage, production mix / electricity, high voltage / APOS, U – BR* para a energia utilizada no aquecimento dos fornos e, *sweet gas, burned in gas turbine / Sweet gas, burned in gas turbine | APOS, U – RoW* para o GLP utilizado na etapa de recozimento do vidro.

Para a avaliação de impacto do ciclo de vida, utilizou-se o método *ReciPe MidPoint (H)*, em que os indicadores mudanças climáticas, depleção do ozônio, ecotoxicidade terrestre e ocupação de áreas urbanas foram analisados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

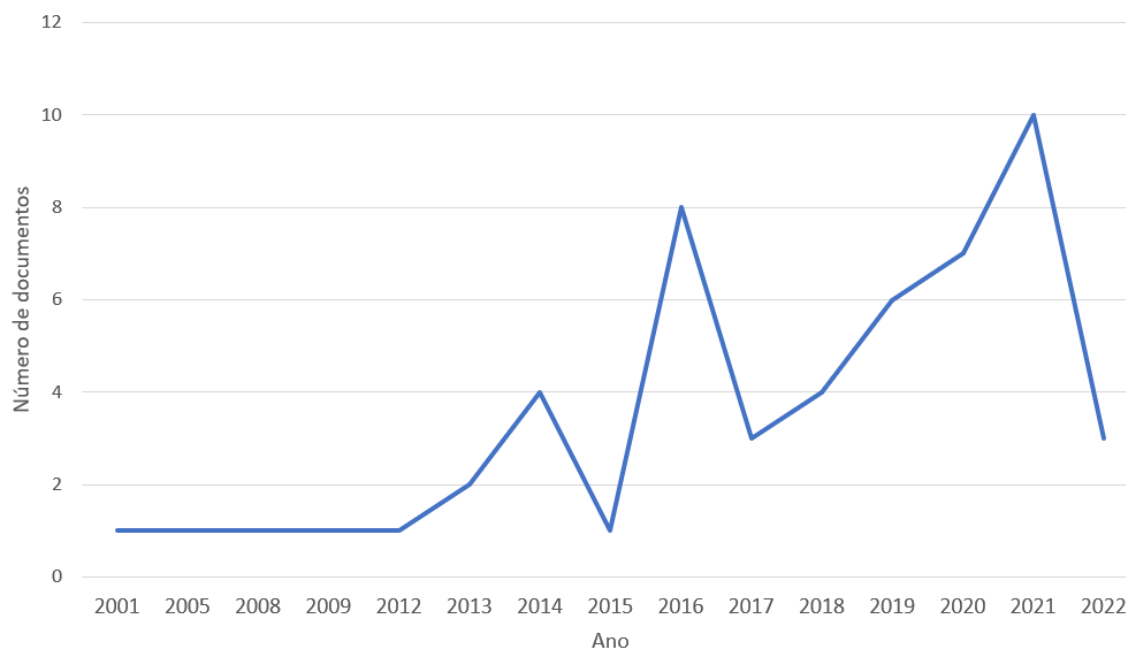
4.1. Análise bibliométrica

Como citado na metodologia, realizou-se um levantamento bibliométrico em que primeiros termos pesquisados foram “*life cycle assessment*” e “*glass bottle*”. Para esta pesquisa, foram encontrados 53 documentos na base WoS de modo geral, e ao aplicar o filtro para o Brasil encontrou-se apenas 1 documento. O que impediu um tratamento bibliométrico acerca do termo pesquisado, no país.

A primeira publicação do tema foi de Mata e Costa (2001), esta publicação avaliava os impactos ambientais associados às garrafas retornáveis e não retornáveis de vidro e comparava com as diferentes vezes em que estes eram reutilizados. Concluindo-se que os impactos estavam relacionados com o número de ciclos realizados pelas garrafas.

Na Figura 15, é apresentada a evolução de publicações ao longo dos anos. Observa-se um pico de documentos no ano de 2021. Como o ano vigente é 2022, pode ser que existam novas publicações até o fim deste ano e, se as publicações ultrapassarem 10 documentos, pode ser que exista uma tendência positiva em pesquisas/publicações relacionadas à ACV de garrafas de vidro. Mesmo que 2022 não ultrapasse o ano anterior, já é possível visualizar que o ciclo de vida do vidro vem sendo estudado com mais intensidade nos últimos anos.

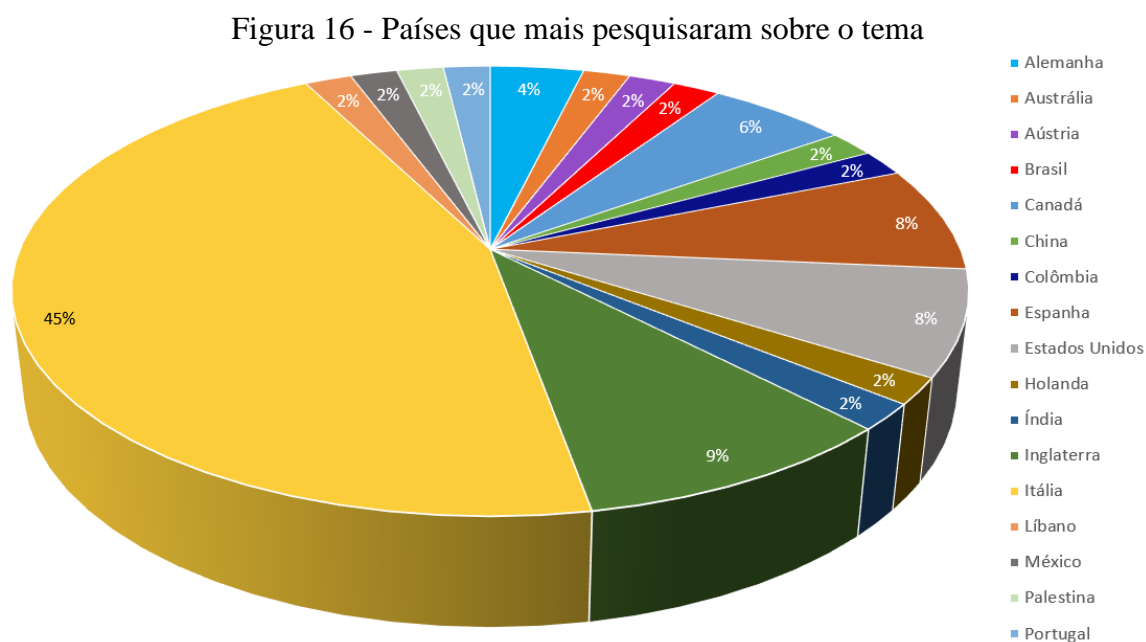
Figura 15 - Documentos publicados por ano referentes aos termos “*life cycle assessment*” e “*glass bottle*” a partir da base WoS



Fonte: Do autor (2022)

O artigo com o maior número de citações sobre o assunto, com 80 citações, foi escrito pelos autores Hossain, Poon, Lo e Cheng (2017), o qual realizou uma ACV comparativa sobre o uso de resíduos na indústria de cimentos na cidade de Hong Kong. Demonstrando que o pó proveniente de garrafas de vidro, ao serem reutilizadas, é efetivo e reduz significativamente os impactos ambientais associados à fabricação do cimento *portland*. O que demonstra que há 5 anos atrás, existiu uma iniciativa em estudar a reinserção do material em seu ciclo de vida.

Na Figura 16, mostram-se os países que mais publicaram acerca dos termos “*life cycle assessment*” e “*glass bottle*”. É notória a participação da Itália sobre o assunto, sendo que este país representa 45% das publicações realizadas até o presente momento, seguido pela Inglaterra (9%), Estados Unidos e Espanha (8%). Por fim, o Brasil contribuiu com apenas 2% das publicações.



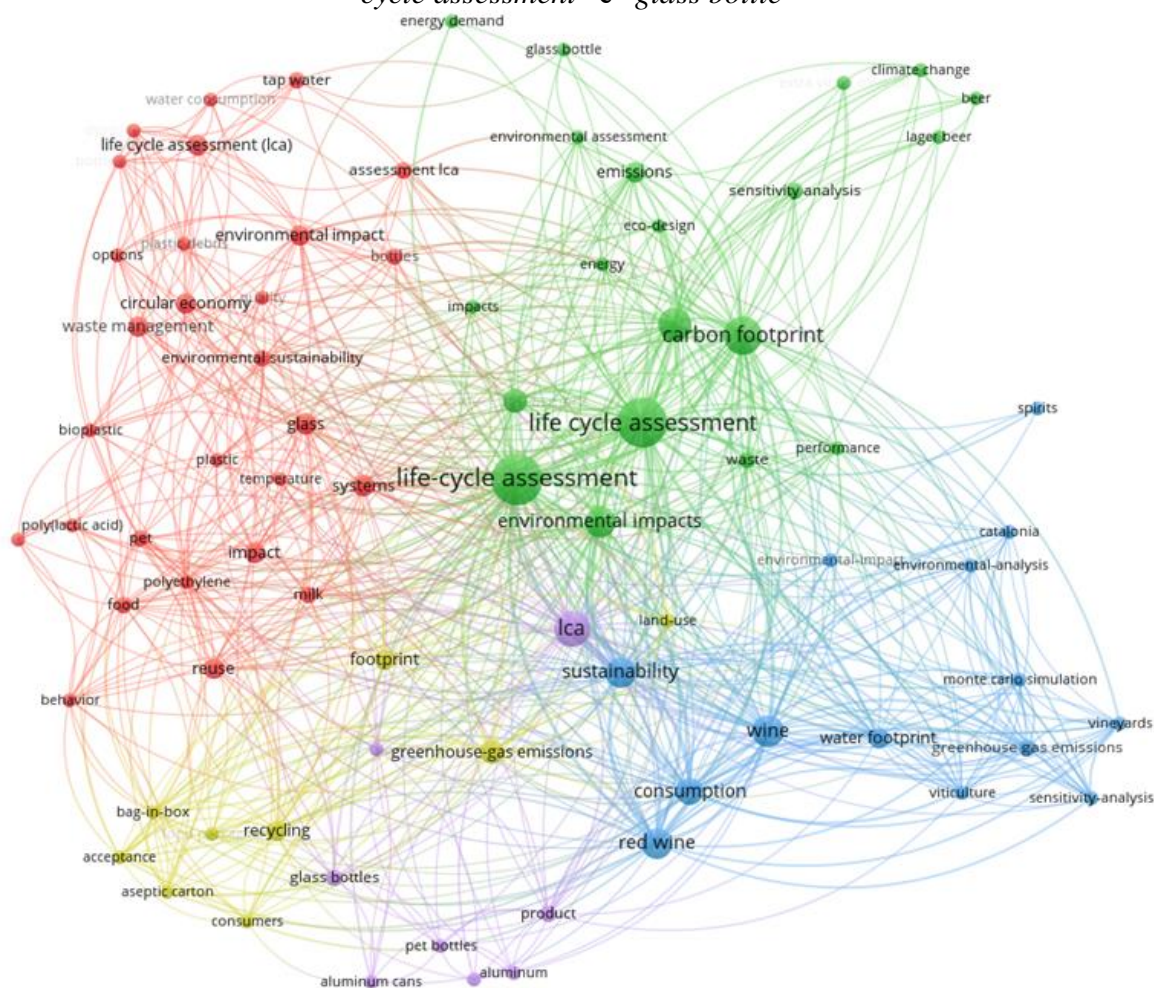
Fonte: Do autor (2022)

A única publicação brasileira sobre o tema é dos autores Almeida, Rodrigues, Agostinho e Giannetti (2017). Esta publicação já foi citada 19 vezes e aborda que a melhor opção para o cenário brasileiro é empregar garrafas de vidro reutilizáveis, implementando a etapa de reciclagem, quando necessária.

Na Figura 17 é mostrado o mapa de coocorrência de palavras-chave para os termos “*life cycle assessment*” e “*glass bottle*”. Considerou-se todas as publicações realizadas, devido aos poucos documentos brasileiros publicados. Foi considerado uma ocorrência mínima de 2 vezes, dando origem a 5 *clusters*. É possível observar que a pesquisa possui palavras-chaves

diferentes, mas relevantes e interligadas em um todo. As palavras de maior ocorrência, no âmbito global, são Avaliação do Ciclo de Vida (com e sem o hífen), pegada de carbono, ACV, impacto ambiental e embalagem.

Figura 17 - Mapa bibliométrico de coocorrência de palavras-chave com termos de busca “*life cycle assessment*” e “*glass bottle*”



Fonte: Do autor (2022)

A partir da elaboração do mapa descrito na Figura 17, observa-se que o termo Avaliação do Ciclo de Vida, não possui uma certa padronização no idioma inglês. Porém, mesmo com esta diferenciação, observou-se a formação de 5 *clusters*. No *cluster* indicado pela cor vermelha, é possível observar termos associados com economia circular, impactos ambientais, diferentes tipos de polímeros e bioplásticos e, o vidro.

O *cluster* de cor verde, mostra a relação entre os termos relacionados com a ACV da garrafa de cerveja e os impactos ambientais, como a pegada de carbono, observando uma maior coocorrência para estes termos em relação aos outros *clusters*. No *cluster* indicado pela cor azul, observaram-se termos relacionados ao meio ambiente associados ao consumo do vinho.

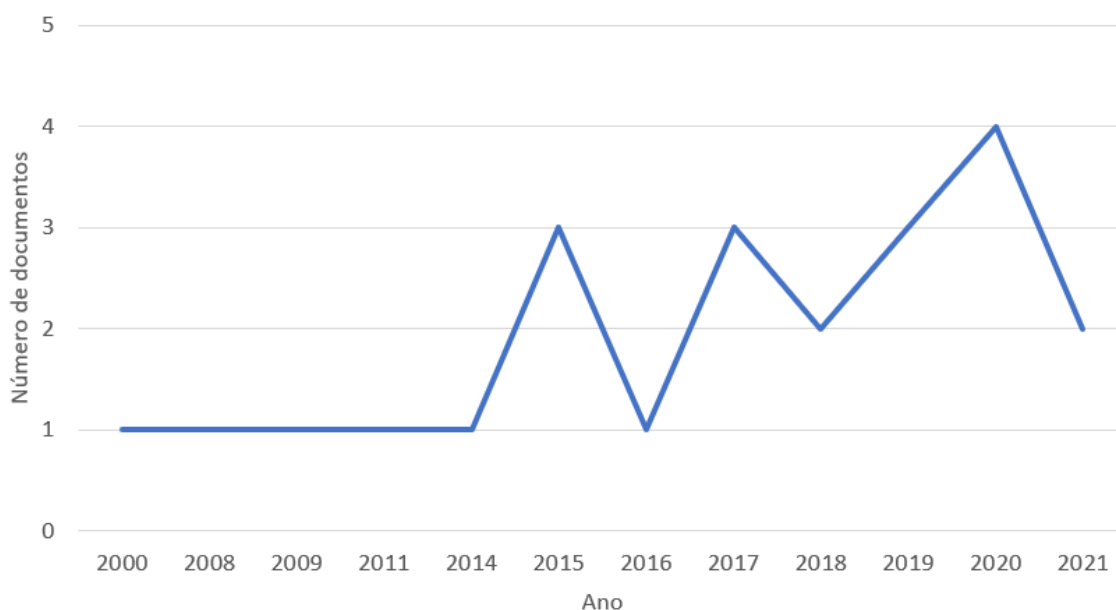
O *cluster* amarelo evidenciou termos envolvidos na reciclagem e, é possível verificar o surgimento do termo “*bag-in-box*”, o qual é um tipo de embalagem comercializada para a distribuição de bebidas. Neste tipo de embalagem, desconsidera-se a presença da garrafa (vidro ou plástico) ou a lata, demonstrando que há pesquisas sobre a troca do tipo de embalagem a ser comercializada e a aceitação do público frente esta troca. Por fim, no *cluster* indicado pela cor lilás, foi possível verificar uma relação entre os termos a fim de comparar as embalagens entre elas.

Dando continuidade, o segundo termo pesquisado foi “*waste glass bottle*”, para o qual foram encontrados 23 documentos na base WoS, das quais 2 são brasileiras. A primeira publicação do tema foi escrita pelos autores Abe, Fukazawa, Mizutani e Kato (2000), a publicação abordava a utilização de resíduos de vidro. E a conclusão acerca do estudo revelou que o vidro expandido pode ser aplicado como material leve de solo, através de estudos na engenharia civil.

O artigo com mais citações sobre o assunto, com 176 citações, foi escrito pelos autores Kou e Poon (2009), os quais investigaram sobre a utilização de cacos de vidro reciclados na fabricação de concreto autoadensável. Como conclusão, tal estudo mostrou que é viável a fabricação deste tipo de concreto a partir da utilização do caco de vidro em substituição da areia (máximo de 30%) e granito (máximo de 15%).

Na Figura 18, mostra-se a evolução de publicações ao longo dos anos sobre o termo. Pode-se observar que no ano de 2020 quatro documentos foram publicados enquanto 2021, apenas duas publicações. Ou seja, de um ano para o outro, houve uma redução de 50% nas publicações sobre o tema. O ano vigente não consta na Figura 18, visto que não foram encontrados documentos contendo “*waste glass bottle*” até a presente data. Por fim, pode-se observar que não há uma constância nas publicações acerca do assunto, mas ao menos uma publicação foi realizada, desde o ano 2000.

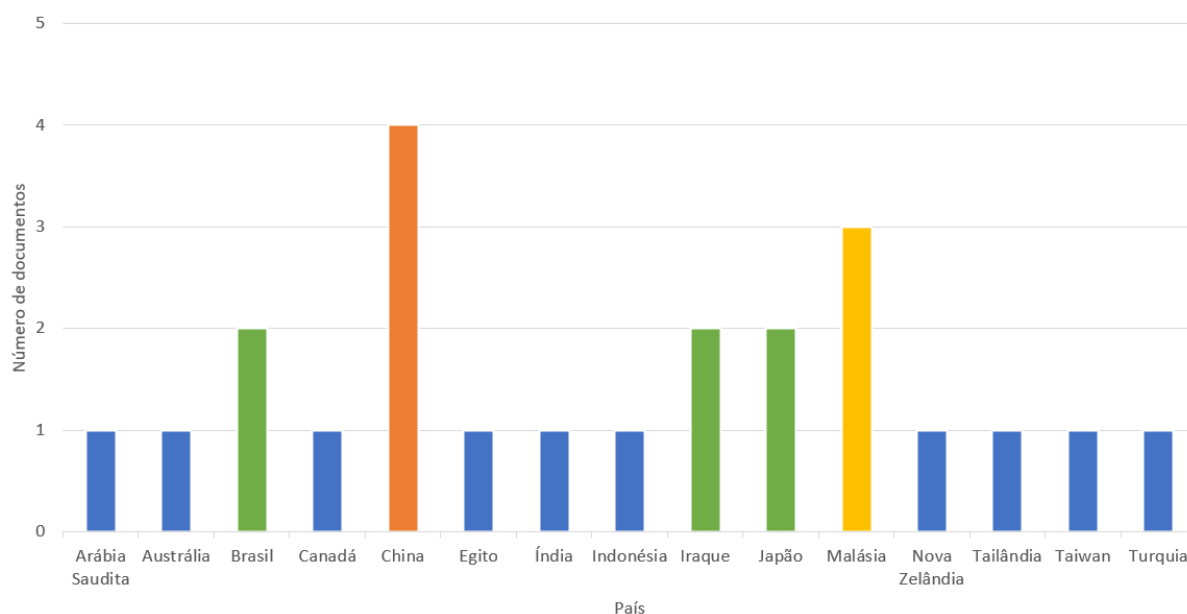
Figura 18 - Publicações referentes ao termo "*waste glass bottle*" a partir da base WoS



Fonte: Do autor (2022)

Na Figura 19, mostram-se os países que mais publicaram o termo. Destaca-se a participação da China (18%), Malásia (13%), seguido do Brasil, Iraque e Japão (9%). A participação do Brasil não é irrelevante se comparar aos outros países, mas se a análise for realizada a partir das publicações realizadas, observa-se que a China fez 4, enquanto o Brasil, Iraque e Japão fizeram 2. É um valor baixo e indica uma falta de pesquisas/publicações em nível mundial sobre resíduos de garrafa de vidro.

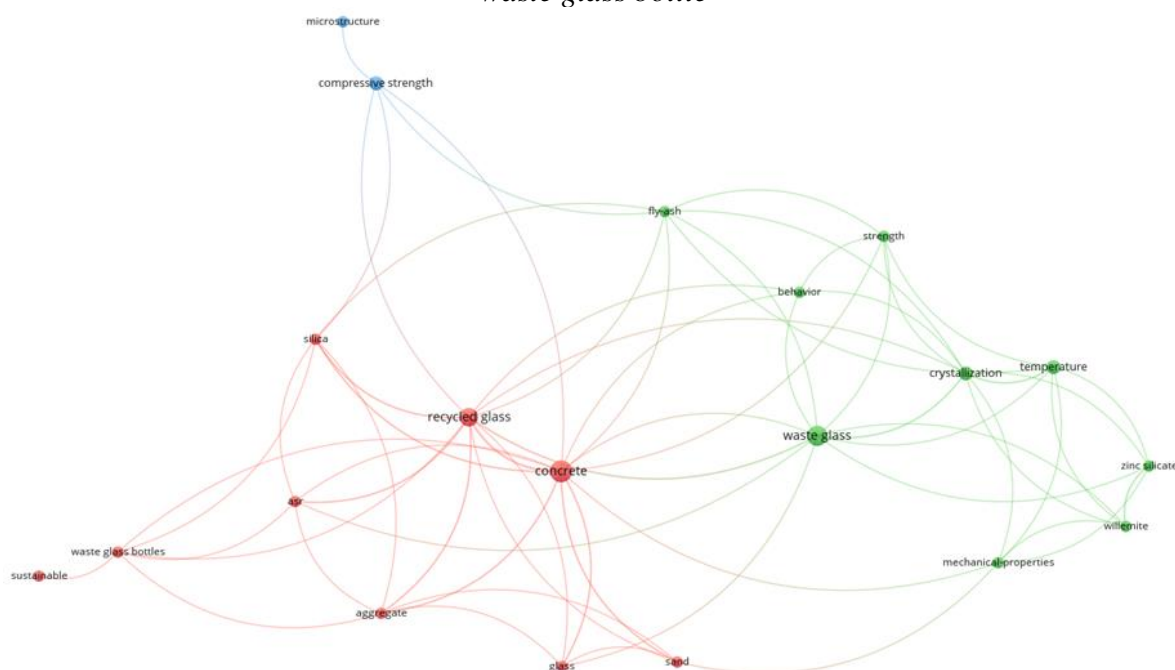
Figura 19 - Países que pesquisaram sobre o tema



Fonte: Do autor (2022)

Na Figura 20 é mostrado o mapa de coocorrência de palavras-chave do termo pesquisado. Consideraram-se todas as publicações devido aos poucos documentos publicados, sendo considerado uma ocorrência mínima de 2 vezes. Originaram-se 3 *clusters*, tornando-se possível observar que o *cluster* de cor vermelha é focado na fabricação de concreto a partir da empregabilidade de garrafa de vidro reciclada. Enquanto o *cluster* verde está relacionado com propriedades mecânicas do resíduo do vidro. Por fim, o *cluster* azul relaciona-se com a compressibilidade e a microestrutura do vidro reciclado, concreto, sílica e as cinzas volantes.

Figura 20 - Mapa bibliométrico de coocorrência de palavras-chave com termo de busca “*waste glass bottle*”



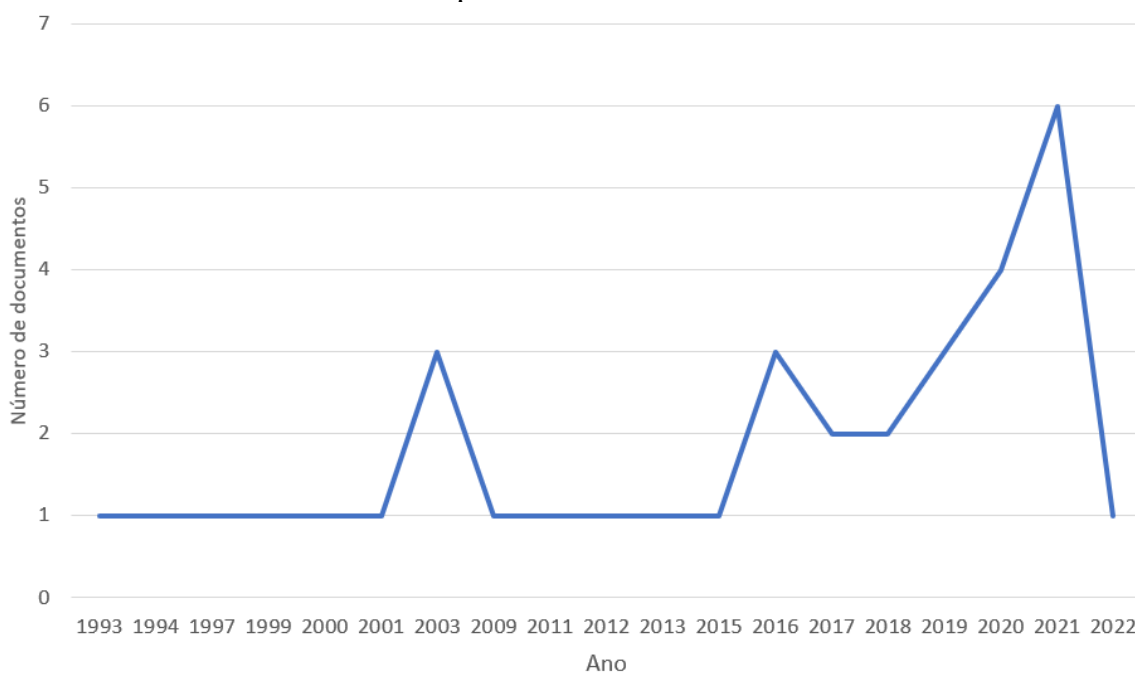
Fonte: Do autor (2022)

Pesquisaram-se também os termos “*glass bottle*” e “*reuse*”, para os quais foram encontrados 35 documentos na base WoS de modo geral, e ao aplicar o filtro para o Brasil encontraram-se apenas 2 documentos, o que impede uma análise estatística acerca do assunto no país.

A primeira publicação do tema foi dos autores Chang, Su, Luo e Zhan (1993), esta publicação não abordava diretamente sobre a reutilização da garrafa de vidro, porém, ela foi usada na síntese de uma fita quelante, por ser necessário utilizar ácidos fortes no tratamento da fita durante o tempo de pesquisa.

Na Figura 21, mostra-se a evolução de publicações ao longo dos anos. Observa-se que ano passado, teve-se o pico máximo de documentos publicados. Como o ano vigente não terminou, não há como afirmar que 2022 superará 2021, mas pode-se dizer que 2022 já está à frente de anos anteriores, pelo fato de já possuir pelo menos 1 publicação contendo os termos.

Figura 21 - Documentos publicados por ano referentes aos termos “*glass bottle*” e “*reuse*” a partir da base WoS



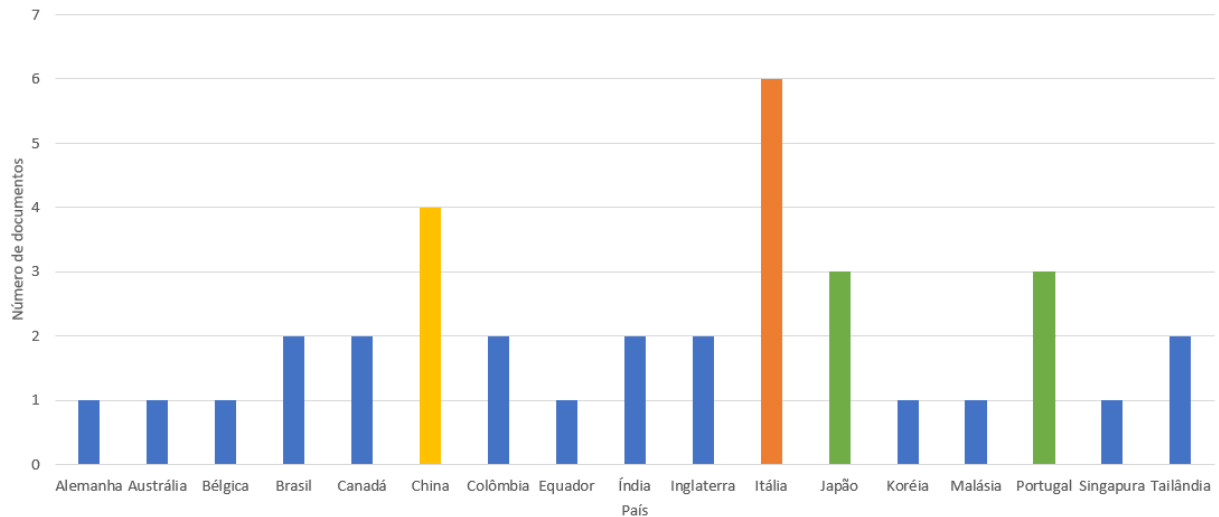
Fonte: Do autor (2022)

O artigo com mais citações sobre o assunto, com 240 citações, foi escrito pelos autores Brown e Buranakarn (2003) sobre energia para ciclos de materiais sustentáveis e opções de reciclagem. Energia quer dizer toda a energia que um ecossistema dispõe para produzir um recurso. Neste documento três diferentes tipos de caminhos foram estudados, a reciclagem do material, quando ele é utilizado novamente com o mesmo objetivo; a reutilização de subprodutos, envolve a utilização de um subproduto para fazer algo diferente; e, a reutilização adaptativa, a qual consiste em reciclar o material em algo completamente diferente. Sendo assim, concluiu-se que a melhor trajetória é a reciclagem dos materiais seguido pela reutilização adaptativa e por fim, reutilização de subprodutos.

Na Figura 22, mostram-se os países que mais publicaram os termos “*glass bottle*” e “*reuse*”, destaca-se novamente a participação da Itália, com aproximadamente 17% dos documentos, seguido da China com 11% e, Japão e Portugal com 9%. O Brasil encontra-se em

quarto lugar com cerca de 6% de documentos publicados, estando empatado com mais cinco países.

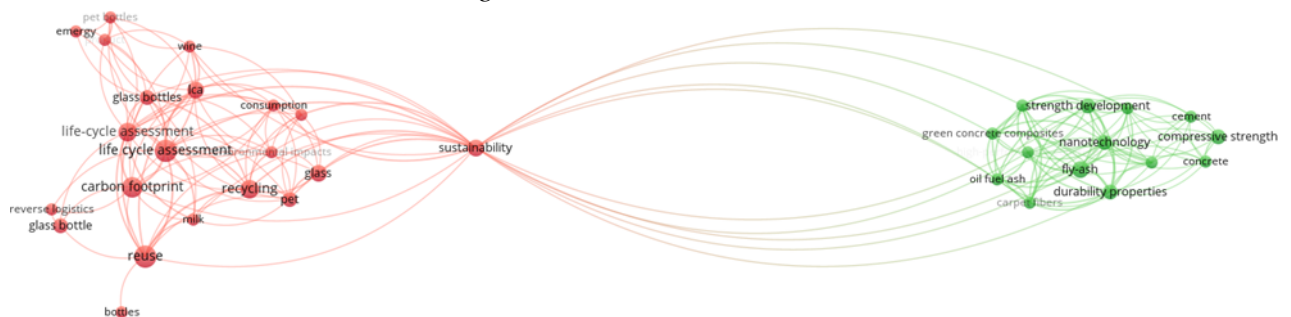
Figura 22 - Países que pesquisaram sobre o tema



Fonte: Do autor (2022)

Na Figura 23 é mostrado o mapa de coocorrência de palavras-chave para os termos “*glass bottle*” e “*reuse*”. Considerou-se todas as publicações realizadas, devido poucos documentos publicados pelo Brasil. Foi considerado uma ocorrência mínima de 2 vezes, dando origem a 2 *clusters*. Torna-se possível observar que a pesquisa possui palavras-chaves diferentes, mas que se interligam a partir do termo sustentabilidade. As palavras de maior ocorrência, são Análise do Ciclo de Vida, reutilização, pegada de carbono, reciclagem e sustentabilidade.

Figura 23 - Mapa bibliométrico de coocorrência de palavras-chave com termos de busca “*glass bottle*” e “*reuse*”



Fonte: Do autor (2022)

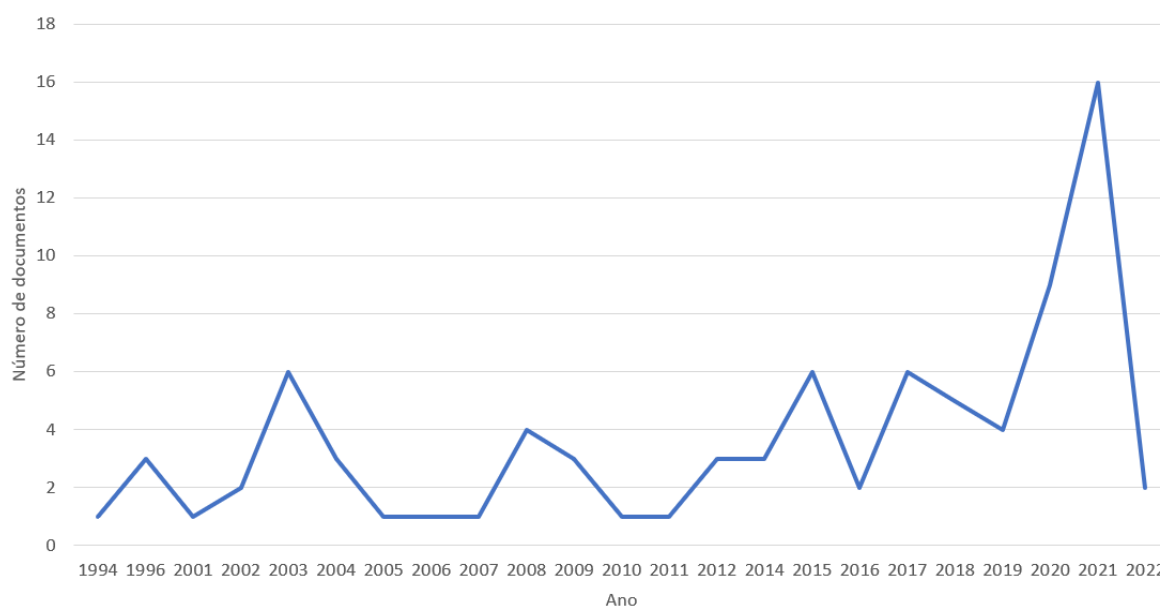
Observa-se que no segundo *cluster*, demonstrado pela cor verde na Figura 23, as palavras de maior ocorrência são voltadas à engenharia civil. Enquanto no *cluster* vermelho, há uma

relação entre os termos voltados ao meio ambiente e a reciclagem/reuso de garrafas de vidro. Por fim, os últimos termos pesquisados foram o “*glass bottle*”, “*recycling*” e “*waste*”, para os quais foram encontrados 84 documentos na base WoS de modo geral. Ao aplicar o filtro nos países que já realizaram publicações, encontraram-se 5 documentos publicados para o Brasil.

A primeira publicação que continha os termos foi dos autores Muttamara, Visvanathan e Alwis (1994). A publicação abordava a reciclagem e reutilização de resíduos sólidos em Bangkok. Os principais resíduos sólidos eram garrafas de vidro, papel e produtos de papel, produtos plásticos e metais. O vidro coletado e reciclado representava uma pequena parcela, cerca de 3% do fluxo total, e o resíduo era utilizado na fabricação de copos ou xícaras. Como conclusão, os autores observaram que as taxas de reciclagem na cidade são baixas e, para que consiga aumentar tais taxas, deve-se intensificar as leis e regulamentações acerca do assunto. Principalmente no país, visto que a Tailândia não possui medidas legislativas e nem incentivos aos consumidores.

Na Figura 24, mostra-se a evolução das publicações ao longo dos anos. Pode ser observado que o maior pico foi no ano de 2021. Mesmo que não haja uma constância, observa-se que um documento sobre o tema é publicado anualmente. Nos anos de 2003, 2015 e 2017 tiveram outros picos, mas ao comparar 2021 com estes anos observa-se que houve um aumento de publicações. Logo, é o ano com o maior número de publicações, até o presente momento.

Figura 24 - Documentos publicados por ano referentes aos termos “*glass bottle*”, “*recycling*” e “*waste*” a partir da base WoS

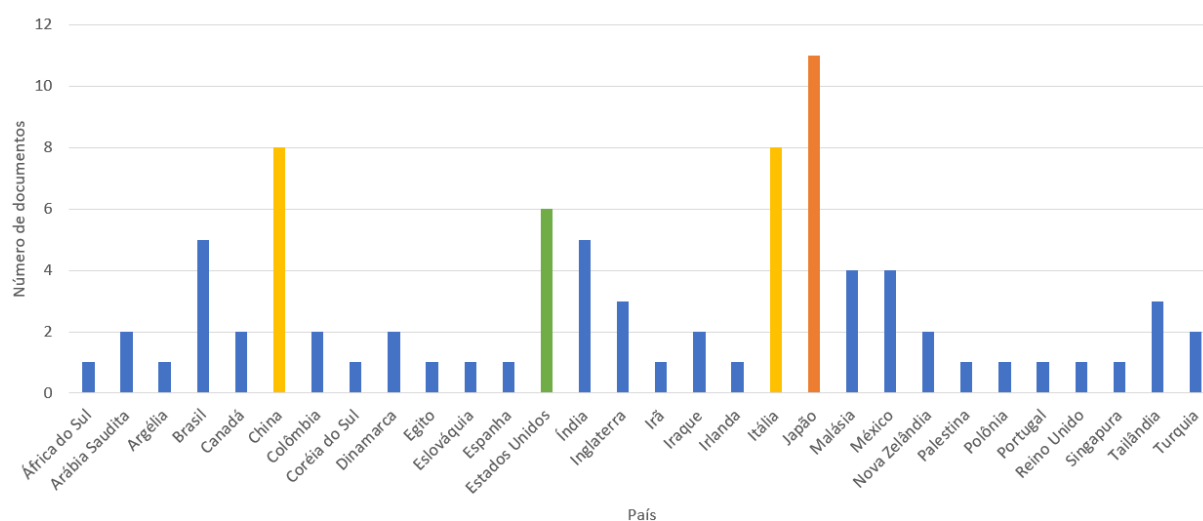


Fonte: Do autor (2022)

O artigo com mais citações sobre o assunto, com 240 citações, foi escrito pelos autores Brown e Buranakarn (2003) sobre energia para ciclos de materiais sustentáveis e opções de reciclagem, o qual já foi discutido nos termos “*glass bottle*” e “*reuse*”. Provavelmente por englobar também os termos aqui discutidos, “*glass bottle*”, “*recycling*” e “*waste*”.

Na Figura 25, mostram-se os países que mais publicaram os termos “*glass bottle*”, “*recycling*” e “*waste*”. Destaca-se a participação do Japão, seguido da Itália, China e dos Estados Unidos. O Brasil está em quarto lugar, empatado com a Índia, com 5 publicações cada.

Figura 25 - Países que pesquisaram sobre o tema

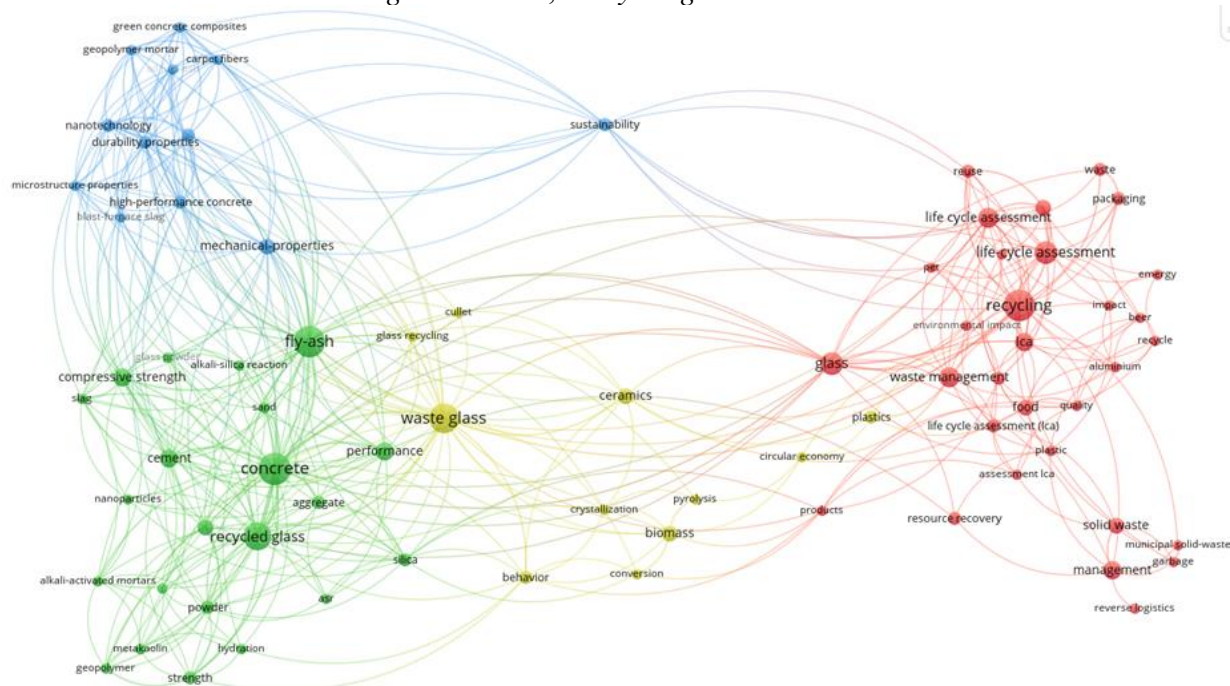


Fonte: Do autor (2022)

Na Figura 26 é mostrado o mapa de coocorrência de palavras-chave para os termos “*glass bottle*”, “*recycling*” e “*waste*”. Consideraram-se todas as publicações e uma ocorrência mínima de 2 vezes, originou-se 4 *clusters* diferentes. O *cluster* indicado pela coloração azul, relaciona os termos sobre o assunto de compósitos de concreto verde com a sustentabilidade. No *cluster* verde, também observa termos relacionados com o concreto, mas com a adição de termos voltados à reciclagem do vidro. Enquanto o *cluster* amarelo agrupa termos relacionados com os resíduos de vidro, cerâmica e a economia circular. Por fim, o *cluster* vermelho conecta os termos voltados à reciclagem do vidro e a análise do ciclo de vida do material.

Tornou-se possível observar que a pesquisa possui palavras-chaves diferentes, mas interligadas como um todo, principalmente pelas áreas de engenharia. As palavras de maior recorrência são concreto, cinzas volantes, reciclagem, resíduos de vidro, vidro reciclado e avaliação do ciclo de vida.

Figura 26 - Mapa bibliométrico de coocorrência de palavras-chave com termos de busca “glass bottle”, “recycling” e “waste”

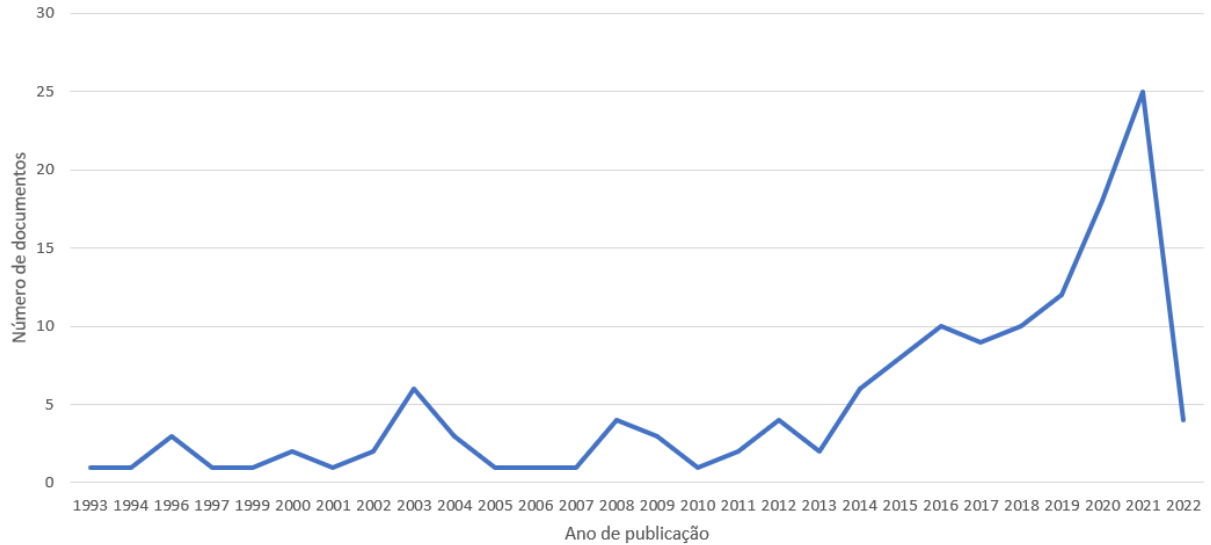


Fonte: Do autor (2022)

A partir do compilado de todas as publicações e analisando todos os termos, obtiveram-se 142 documentos. Na Figura 27 é possível visualizar que em 2021 ocorreu a maior ocorrência de publicações, com 25 documentos e, que houve um aumento gradativo ao longo dos anos. Em 1993, ocorreu apenas uma publicação desta forma, 2021 representa um valor 25 vezes maior. Ao analisar o ano vigente, observa-se que já foram realizadas 4 publicações, igualando com as publicações de 10 anos atrás.

Em aproximadamente 29 anos, desde o primeiro documento até o ano vigente, ocorreram 142 publicações sobre o tema no mundo, é um valor baixo para um assunto tão importante. Espera-se que 2022 supere o ano anterior, em relação às publicações acerca do tema, visto que foi considerado como o ano do vidro, de acordo com as Nações Unidas. Tal anúncio enfatizará o grau de importância que este material possui frente aos outros, já que o vidro é o material existente mais puro, e o único 100% reciclável. Há expectativas em que tal declaração ressalte a importância econômica, tecnológica e científica acerca do material (ABIVIDRO, 2021).

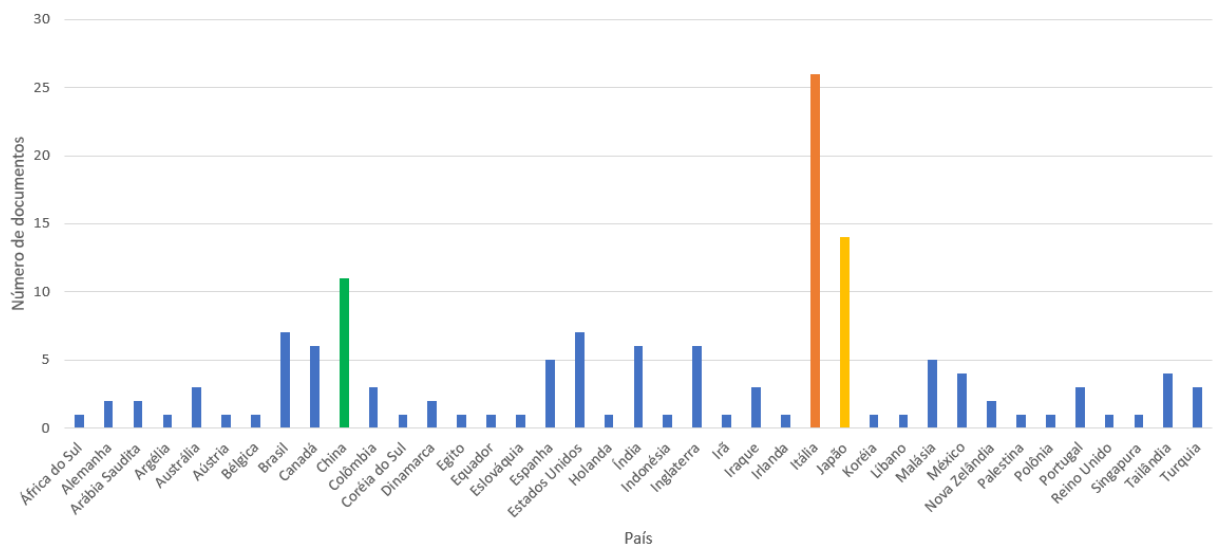
Figura 27 - Documentos publicados por ano referentes aos termos “*life cycle assessment*”, “*glass bottle*”, “*waste glass bottle*”, “*reuse*”, “*recycling*” e “*waste*” a partir da base WoS



Fonte: Do autor (2022)

Pode-se analisar quais foram os países que mais contribuíram com estas 142 publicações, na Figura 28 é mostrado quais foram estes países. A Itália lidera as publicações, seguido do Japão e da China. O Brasil está empatado com os Estados Unidos, com 7 documentos cada. Fica visível que o Brasil não possui tantas publicações sobre o tema, se comparado aos países líderes do assunto, mas em comparação aos outros, o Brasil está à frente mesmo sendo um índice baixo de publicações.

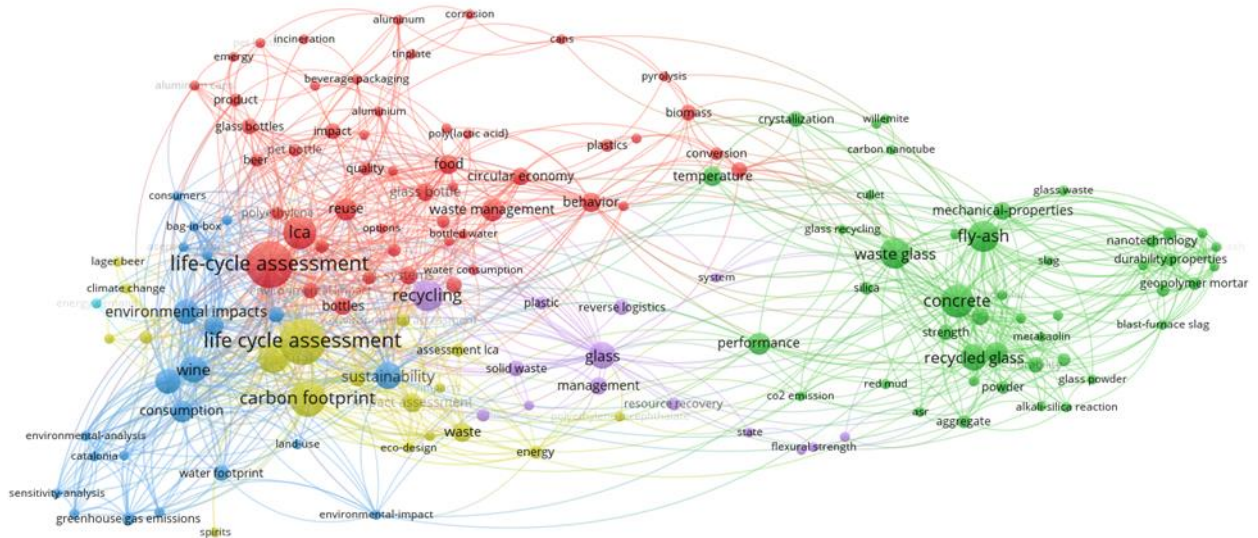
Figura 28 - Países que mais publicaram sobre o tema



Fonte: Do autor (2022)

Na Figura 29 mostra-se o mapa de coocorrência de palavras-chave para todos os termos pesquisados, considerando-se todas as publicações realizadas ao redor do mundo. Considerando uma ocorrência mínima de 2 vezes, obteve-se 5 *clusters* sendo possível constatar que mesmo com palavras-chaves diferentes, há relações entre elas.

Figura 29 - Mapa bibliométrico de coocorrência de palavras-chave com termos de busca “*life cycle assessment*”, “*glass bottle*”, “*waste glass bottle*”, “*reuse*”, “*recycling*” e “*waste*”



Fonte: Do autor (2022)

Ao observar a Figura 29 destaca-se a segregação do assunto sobre o vidro na indústria cimenteira, em que o *cluster* indicado pela cor verde evidencia fortemente esta ligação. O *cluster* vermelho relaciona termos voltados ao meio ambiente e a ACV do vidro. Enquanto o *cluster* azul relaciona termos sobre o consumo do vinho e os impactos ambientais deste consumo. Já o *cluster* amarelo, agrupa termos sobre pegada de carbono, ACV e as mudanças climáticas relacionadas às garrafas de vidro. Por fim, o *cluster* lilás reúne fortemente termos pertinentes à reciclagem do vidro e a logística reversa.

4.2. Análise ambiental

A implementação da ACV para a produção de 1 tonelada de garrafa de vidro destinada às indústrias de bebidas, permitiu avaliar os impactos causados. Na Tabela 4 são mostrados os potenciais de impacto ambiental observados ao variar a taxa de reciclagem conforme os cenários propostos. Como pode ser observado, os maiores problemas da fabricação e destinação das garrafas de vidro são a depleção fóssil e a ocupação de áreas urbanas. Atualmente no país, 47% das garrafas de vidro são recicladas, desta forma o aumento da taxa de reciclagem de 47% para 75% poderia significar uma redução de aproximadamente 42% no impacto associado à ocupação de áreas urbanas, indicando uma menor utilização de aterros sanitários na disposição final do material. Além disso, observou-se uma redução de aproximadamente 39% no potencial de impacto relacionado à depleção fóssil ao aumentar a taxa de reciclagem. Isso indica que a reinserção do vidro em seu ciclo, causa uma tendência na diminuição de impactos provenientes de combustíveis, devido a menor utilização destes para uma nova fusão do vidro reciclado (CNI, 2016).

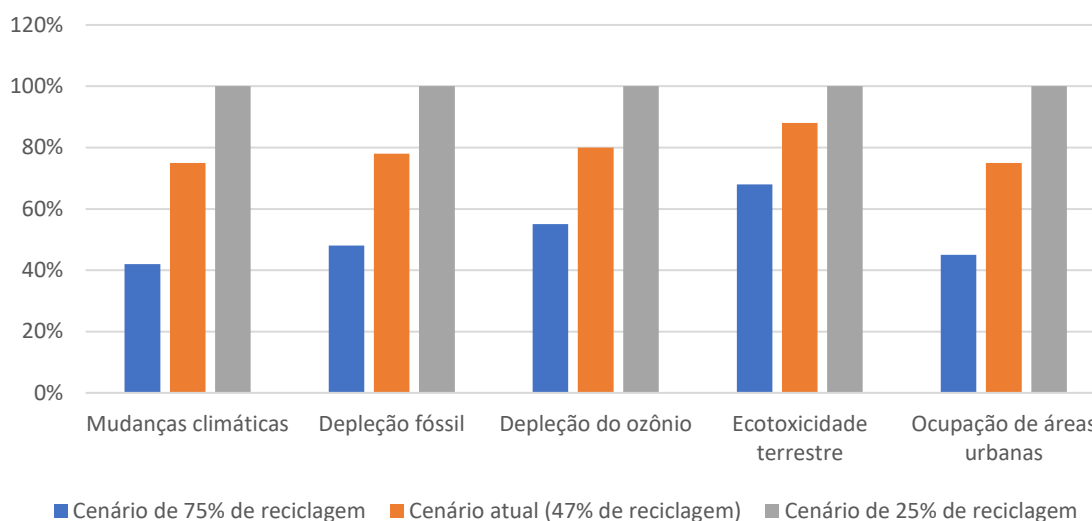
Tabela 4 - Impactos ambientais avaliados por cenário

Indicador	Cenário de reciclagem			Unidade
	25%	atual (47%)	75%	
Mudanças climáticas	217	163	94,1	kg CO ₂
Depleção fóssil	700	536	328	kg óleo
Depleção do ozônio	12,6	10,0	6,85	kg CFC
Ecotoxicidade terrestre	48,3	41,3	32,4	kg 1,4-DCB
Ocupação de áreas urbanas	771	581	338	m ² a

Fonte: Do autor (2022)

Na Figura 30 são apontados os indicadores relativos em comparação com o cenário de maior potencial determinado (25%).

Figura 30 - Impactos ambientais causados por 1 tonelada de garrafa de vidro



Fonte: Do autor (2022)

No que tange as mudanças climáticas, é possível comparar os cenários envolvidos. Observa-se que no cenário em que há uma reciclagem/reinserção de 75% da garrafa de vidro no processo, o impacto de mudanças climáticas é 56,6% menor do que no cenário de 25% de reciclagem. Ou seja, ao retornar com a garrafa para o processo haverá uma menor emissão gasosa, reduzindo a contribuição para o efeito estufa (COLTRO, 2007).

Os gases contribuintes para o efeito estufa controlados pelo protocolo de Kyoto são: CO₂ (Dióxido de carbono), CH₄ (Metano), N₂O (Óxido nitroso), HFCs (Hidrofluorcarbonetos), SF₆ (Hexafluoreto de enxofre) e PFCs (Perfluorocarbonos). O principal causador/contribuinte do efeito estufa é o CO₂ e, as etapas que mais contribuem nesta emissão são as etapas que envolvem queima de combustíveis. Ou seja, as etapas de fusão, recozimento e transporte são as maiores contribuintes na emissão de CO₂ (CNI, 2016).

Além disso, a depleção fóssil reduziu 53% ao aumentar a taxa de reciclagem de 25% para 75%, pois ao reintegrar o vidro no processo de fabricação, em forma de cacos de vidro, há uma melhoria na eficiência do processo. Esta melhoria requer menos energia para que o vidro seja fundido, sendo esta proveniente de recursos fósseis não renováveis. Logo, este impacto está interligado à extração e processamento de petróleo e, ao reduzir a quantidade requerida de combustível, retarda-se o esgotamento deste recurso natural finito (CNI, 2016).

Ao analisar a depleção de ozônio para o cenário com a maior taxa de reciclo (75%), observa-se uma redução de 46% em relação ao cenário em que há a menor taxa de reciclagem (25%). Este fato está interligado com o impacto da depleção fóssil, em que com a reinserção do vidro no ciclo, necessita-se de menos energia para a realização da etapa de fundição do caco de

vidro e com isso, a emissão de gases que afetam a camada de ozônio, tende a diminuir (CRUZ, 2021).

A ecotoxicidade terrestre reduziu quando a taxa de reciclo da garrafa de vidro foi aumentada. Pois, ao retornar com este material para o processo não há necessidade de realizar uma nova extração de matérias primas no meio ambiente para a fabricação de novas garrafas. Desta forma, a garrafa segue no ciclo sem a necessidade de utilizar os ingredientes base e auxiliando a reduzir a ecotoxicidade terrestre (COELHO, 2017).

A ocupação de área urbana, também foi substancialmente reduzida em 56% ao aumentar a taxa de reciclagem de 25% para 75%. É possível realizar a reinserção de maneira correta do material para evitar que ele fique “disponível” no meio ambiente ou em aterros sanitários. A falta de reinserção/reciclagem do material o torna sem utilidade, e reduz a vida útil de aterros sanitários, logo, o melhor cenário para diminuir o impacto associado à ocupação urbana é a reinserção/reciclo do vidro, retornando-o para o ciclo de vida (KARASKI *et al*, 2016). Esta reinserção no processo pode ser considerada positivamente pois ao reduzir a necessidade de enviar o material para o aterro sanitário, aumenta-se sua vida útil contribuindo assim no incremento das cidades localizadas nos arredores do aterro e, na ampliação do desenvolvimento social de cooperativas e centros de reciclagem.

Avaliando de forma geral os impactos ambientais causados pela fabricação da garrafa de vidro destinada, com diferentes taxas de reciclagem e destinação ao aterro sanitário. Observa-se que a garrafa que retorna ao seu ciclo de vida tende a causar menos impactos do que aquela que é enviada diretamente ao aterro sanitário. Desta forma, há uma influência na taxa de reuso/reciclagem no potencial de impacto deste processo, indicando que quanto maior for a taxa de reciclagem da garrafa, existe uma tendência em reduzir os impactos gerados pela sua fabricação. Além de evitar que novas extrações sejam realizadas para a fabricação de garrafas de vidro, contribuindo assim com a preservação de novas áreas/recursos naturais que não foram explorados e impedindo novos impactos ambientais.

Além de ser 100% reciclável a garrafa de vidro pode ser reutilizada para a recomercialização de bebidas se, passar por um processo de higienização e posterior envase. Logo, o vidro pode ser um grande aliado para as indústrias de bebidas no que tange a comercialização e o retorno da embalagem, seguindo as diretrizes da PNRS. E caso a embalagem retornável seja quebrada na logística reversa ou nas mãos do consumidor, a mesma pode ser enviada e aproveitada no processo de fabricação de uma nova garrafa.

Empresas como Heineken e Ambev estão desenvolvendo programas para auxiliar na redução dos impactos ambientais provenientes das garrafas de vidro que utilizam em seus processos. Desta forma, a Heineken desenvolveu um projeto denominado coalizão embalagens, cujo objetivo é promover a reciclagem de embalagens e a meta definida está na redução da quantidade de embalagens pós-consumo que são destinadas aos aterros sanitários. Enquanto a Ambev possui uma planta destinada à fabricação de garrafas de vidro utilizando cacos de vidro oriundos da reciclagem e há o investimento em garrafas de vidro retornáveis, ou seja, as garrafas podem ser reutilizadas pelo menos 20 vezes ao ano, evitando a etapa de produção de novas garrafas (AMBEV, 2021; HEINEKEN, 2022).

A taxa de reutilização do vidro é de 100%, não havendo perdas associadas no reciclo, mesmo estando inutilizada ao uso humano devido quebra ou trincas em sua superfície. Desta forma, tanto a reutilização quanto a reciclagem são formas de compensar os impactos ambientais gerados pela fabricação desta embalagem.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve o objetivo principal de estudar o ciclo de vida das garrafas de vidro com ênfase na fase pós-consumo. Além de possuir como objetivo específico o estudo bibliométrico, a partir de pesquisas científicas publicadas no *Web Of Science*, acerca das estratégias de reintegração do material no ciclo de vida ao longo dos anos no Brasil e, avaliar a influência da taxa de reuso/reciclagem sobre o potencial de impacto associado ao ciclo da garrafa de vidro utilizando a ACV, a partir do *OpenLCA*. Foi possível perceber que existe uma tendência no aumento dos estudos e pesquisas mundiais sobre como o material pode ser reinserido em seu ciclo de vida e quais os impactos que o vidro causa no meio ambiente.

A ACV mostrou que o potencial de impacto associado ao ciclo da garrafa de vidro é influenciável a partir de uma reinserção do vidro na fabricação de novas garrafas. A partir deste, pode-se presumir que ao reinserir o vidro em outros processos, os impactos associados a estes processos, tendam a reduzir. Principalmente pelo fato de ser 100% reciclável e reutilizável, mesmo estando trincado, quebrado ou no formato de caco de vidro.

As garrafas que são destinadas ao reciclo geram menos impacto na fabricação de novas garrafas ao substituir parte da matéria-prima, do que realizar a fabricação apenas com a matéria-prima base. Ao reinserir o vidro em seu ciclo, compensa-se os impactos ambientais gerados por esta produção, conforme foi elucidado neste estudo, a reinserção é capaz de reduzir significativamente impactos como aquecimento global e a ocupação de áreas urbanas.

Para que novas formas de reinserir o produto em seu ciclo possa ser realizado, necessita-se estudos e pesquisas na área. Pois o vidro pode ser 100% reutilizado na fabricação de novas garrafas sem que haja interferência no produto gerado. Mas, para que novas formas de reutilização surjam, faz-se necessário pesquisas aplicadas no assunto.

Desta forma, a análise bibliométrica demonstrou que há uma defasagem no estudo da reinserção do vidro no Brasil e principalmente no estudos oriundos da Engenharia Química. Ou seja, não foram encontrados dados e publicações que indiquem a existência de estratégias para reinserção do vidro no ciclo de vida a partir de estudos da área de conhecimentos da Engenharia Química. Outro ponto observado é que a Itália têm sido o país que mais realizou estudos e publicações sobre o tema se tornando um destaque nas publicações.

Ao longo do tempo, a quantidade de publicações realizadas sobre o tema foi ínfimo, mostrando que o assunto precisa ser debatido a nível global. O vidro requer muito tempo para se decompor, mas ao realizar uma reciclagem/reuso do material têm-se um aproveitamento de 100% do material, fazendo com que não existam perdas associadas ao reuso/reciclagem.

O Brasil possui políticas, legislações e incentivos para destinação dos resíduos sólidos, mas a partir do demonstrado ficou exposto que mesmo com exigências e estímulos, há uma deficiência nas pesquisas sobre o tema. Poderia existir um leque de oportunidades para novas tecnologias, pesquisas, novas formas de reutilizar o vidro etc., mas é evidente que mesmo com o passar dos anos o Brasil não evoluiu no assunto, reforçando a carência do país.

Para que haja uma diminuição nos impactos associados à utilização do vidro no Brasil e no mundo, precisa-se realizar mais estudos sobre o tema e diversificar as formas de reinseri-lo no ciclo de vida. Sente-se uma falta de análises de ciclo de vida para o vidro pós utilização do material pelo consumidor. Mesmo que existam estudos para reinserir o vidro na indústria cimenteira, pode ser que existam outras formas de reinseri-lo em outros processos e dar uma nova destinação. Mas, para que tal oportunidade ocorra, um estudo aprofundado faz-se necessário.

Por ser o ano do vidro, de acordo com a Organização das Nações Unidas, espera-se que novas pesquisas sejam realizadas para estudar diferentes maneiras de reinserir o vidro em seu ciclo de vida, sendo ele a partir de novas estratégias de reciclagem e/ou a reinserção em outros processos para auxiliar na redução de extração de matéria-prima e simultaneamente, a redução nos impactos ambientais (ABIVIDRO, 2021). Para os próximos estudos acerca do assunto, seria interessante buscar dados em outras bases e compará-las, para compreender se há divergências na quantidade de publicações por país e área de estudo. E realizar a ACV considerando todo o processo de fabricação da garrafa de vidro, incluindo a etapa de lavagem do vidro e envase da bebida.

REFERÊNCIAS

- ABE, H.; FUKAZAWA, E.; MIZUTANI, H.; KATO, Y. *Properties and application of expanded glass waste at lightweight ground material*. **Coastal Geotechnical Engineering In Practice**, v. 1, p. 571-576, jan. 2000.
- ABIVIDRO. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE VIDRO. **2022 será o Ano Internacional do Vidro das Nações Unidas**. 4 ago. 2021. Disponível em: <<https://abividro.org.br/2021/08/04/2022-ano-internacional-do-vidro/>>. Acesso em: 14 mar. 2022.
- _____. **Associados – Indústria do Vidro**. [202-?]. Disponível em: <<https://abividro.org.br/industria-vidro-associados/>>. Acesso em: 12 fev. 2022.
- _____. **Vidro: o resíduo infinitamente reciclável**. 7 fev. 2019. Disponível em: <<https://abividro.org.br/2019/02/07/vidro-o-residuo-infinitamente-reciclavel/>>. Acesso em: 12 fev. 2022.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura**. Rio de Janeiro, 2001.
- ABRE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM. **Setor de embalagem apresenta crescimento de 6,8% no segundo trimestre de 2021**. São Paulo, 23 ago. 2021. Disponível em: <<https://www.abre.org.br/inovacao/setor-de-embalagem-apresenta-crescimento-de-68-no-segundo-trimestre-de-2021/>>. Acesso em 24 jan. 2022.
- _____. **Estudo ABRE Macroeconômico da embalagem e cadeia de consumo**. São Paulo, [2021?]. Disponível em: <<https://www.abre.org.br/dados-do-setor/2020-2/>>. Acesso em 07 fev. 2022.
- ALMEIDA, C. M. V. B.; RODRIGUES, A. J. M.; AGOSTINHO, F.; GIANNETTI, B. F. *Material selection for environmental responsibility: the case of soft drinks packaging in Brazil*. **Elsevier**, v. 142, p. 173-179, 20 jan. 2017.
- AMARAL, D. S. **Reciclagem no Brasil: Panorama atual e desafios para o futuro**. Centro Universitário FMU. 11 set. 2021. Disponível em: <<https://portal.fmu.br/noticias/reciclagem-no-brasil-panorama-atual-e-desafios-para-o-futuro/>>. Acesso em: 09 mar 2022.
- AMBEV. AMERICAS' BEVERAGE COMPANY. **Embalagem Circular**. 2021. Disponível em: <<https://www.ambev.com.br/esg/embalagem-circular/>>. Acesso em: 18 fev. 2022.
- AMORIM, J. DE. **Análise bibliométrica das dissertações defendidas entre os anos de 2005 a 2011 no PGCIN/UFSC**. Trabalho de Conclusão de Curso - Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.
- ARAÚJO, C. A. **Bibliometria: evolução histórica e questões atuais**. Em questão, vol. 12, n.1 – p. 11 - 32. Porto Alegre - RS: Junho, 2006.

ARMELLINI, C.; FERNANDES, D. **Utilização da sucata de vidro para a produção de novos produtos**. 48th Annual Meeting of the Brazilian Ceramic Society. Universidade Federal do Paraná – UFPR. Julho, 2004.

BARÃO, M. Z. **Embalagens para produtos alimentícios**. Instituto de Tecnologia do Paraná, 2011.

BNDES. **Considerações sobre a indústria do vidro no Brasil**. Rio de Janeiro, n. 26, p. [101]-137, set. 2007. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2666>>. Acesso em: 12 fev. 2022.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 14 fev. 2022.

BROWN, M.; BURANAKARN, V. *Emergy indices and ratios for sustainable material cycles and recycle options*. Elsevier, v. 38, n. 1, p. 1-22, abr. 2003.

CABRAL, A. C. D. *et al.* **Apostila de embalagem para alimentos**. Campinas, 1984. 335 p.

CABRINI, M. C. Acoplamento bibliográfico e análise de cocitação> revisão teórico-conceitual. **Encontros Bibli**: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação. Vol. 21, n. 47, p. 82 – 99. Dezembro, 2016.

CARMO, M. E.R. *et al.* **Caracterização da resistência à compressão uniaxial de concreto com substituição parcial de cimento Portland por vidro sodo-cálcico moído**. 73º Congresso Anual – ABM, 2018. São Paulo, SP, Brasil.

CARVALHO, M. A. **Engenharia de embalagens: uma abordagem técnica do desenvolvimento de projetos de embalagem**. São Paulo: Novatec, 2008.

CHANG, X.; SU, Z.; LUO, X.; ZHAN, G. *Synthesis of Poly(Acrylamidrazone-Hydrazide) Chelating Fiber and Application of Enrichment Separation for Traces of Indium, Tin, Chromium, Vanadium and Titanium from Solution Samples*. Elsevier, v. 40, n. 4, p. 527-532, abr. 1993.

CHUEKE, G. V.; AMATUCCI, M. O que é bibliometria? Uma introdução ao fórum. **Revista eletrônica de negócios internacionais**. Vol. 10, n. 2, p. 1 – 5. São Paulo Agosto, 2015.

CLARIVATE. CLARIVATE ANALYTICS COMPANY. **Bases de dados para a busca de artigos e análises bibliométricas**. Web of Science Group. 2020.

CNI. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Estratégias corporativas de baixo carbono: setor do vidro**. 126 p. Brasília, Brasil. 2016.

COELHO, S. V. R. T. **Avaliação do Ciclo de Vida de uma Garrafa de Vidro e sua Integração no Processo de Tomada de Decisão**. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. 26 jun. 2017.

COLTRO, L. **Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão**. 75 p. Campinas, Brasil: CETEA/ITAL, 2007.

CRUZ, L. A.; **Logística reversa e diminuição do consume energético em produção de garrafas de vidro**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola de Química, Rio de Janeiro: 2021.

DE BELLIS, N. *Bibliometrics and citation analysis: from the Science Citation Index to cybermetrics*. Lanham: Scarecrow Press, 2009.

DECORANDO CASAS. **Como reaproveitar garrafas de vidro 02**. Setembro, 2016. Disponível em: <<https://decorandocasas.com.br/2016/09/30/como-reaproveitar-garrafas-de-vidro/como-reaproveitar-garrafas-de-vidro-02/>>. Acesso em: 20 fev. 2022.

EMBRAPA. O que é Gestão do Ciclo de Vida. **V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida**. 2016. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/vcbgcv/gcv>>. Acesso em: 14 fev. 2022.

FABI, A. R.; ENSINAS, A. V.; MACHADO, I. P.; BIZZO, W. A. **Uso da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) em embalagens de plástico e de vidro na indústria de bebidas no Brasil**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais – nº 1. Ago. 2005.

FILHO, O. C.; JUNIOR, N. L. S.; LUEDEMANN, G. A avaliação de ciclo de vida como ferramenta para a formulação de políticas públicas no brasil. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA**. Brasília, jun. 2016.

FRANÇA, G.; BINDERMAN, H. L.; CAMPOS, P. A. **Modelo de Negócios Circular para Fornecimento de Recipientes de Vidro para Produtores Artesanais no Rio de Janeiro**. Universidade Federal do Rio de Janeiro: Escola de Química, 2020.

HAUSCHILD, M. Z. *Assessing Environmental Impacts in a Life Cycle Perspective*. **Environmental Science and Technology**, v. 39, n. 4, p. 81A - 88A, 2005.

HEINEKEN. **Nosso novo ingrediente: Energia Verde**. 2022. Disponível em: <<https://www.heineken.com/br/pt/green-energy>>. Acesso em: 03 abr. 2022.

HOSSAIN, M.; POON, C.; LO, I.; CHENG, J. *Comparative LCA on using waste materials in the cement industry: A Hong Kong case study*. **Elsevier**, v. 120, p. 199-208, 13 mai. 2017.

IBICT. INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Histórico da ACV**. [2015? a]. Disponível em: <<https://acv.ibict.br/acv/historico-da-acv/>>. Acesso em: 13 fev. 2022.

_____. **O que é a Avaliação do Ciclo de Vida**. [2015? b]. Disponível em: <<https://acv.ibict.br/acv/o-que-e-o-acv/>>. Acesso em: 13 fev. 2022.

IBRAHIM, S.; MEAWAD, A. *Assessment of waste packaging glass bottles as supplementary cementitious materials*. **Elsevier: Construction and Building Materials** 182, 451 – 458. 2018.

JAIME, S. B. M.; BÓCOLI, P. F. J.; FARIA, T. B. **Barreira à luz de embalagens de vidro**. Boletim de Tecnologia e Desenvolvimento de Embalagens. Vol. 30 – nº 2. Jul. 2018. Instituto de Tecnologia de Alimentos. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Sandra-Jaime-2/publication/326781843_Barreira_a_luz_de_embalagens_de_vidro/links/5b6844a745851584787f2a13/Barreira-a-luz-de-embalagens-de-vidro.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2022.

JORGE, N. **Embalagens para alimentos**. 2013. 194 p. Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2013.

JÚNIOR, C. M. *et al.* **Análise de viabilidade de utilizar as leis da bibliometria em diferentes bases de pesquisa**. XXXVIII Encontro da ANPAD. Rio de Janeiro – RJ: Setembro, 2014.

KARASKI, T. U. *et al.* **Embalagem e Sustentabilidade: desafios e orientações no contexto da economia circular**. São Paulo: CETESB, 2016. 52 p., il. color., 30cm

KOU, S.; POON, C. *Properties of self-compacting concrete prepared with recycled glass aggregate*. Elsevier, v. 31, n. 2, p. 107-113, fev. 2009.

LORDELO, R. S. D. **Avaliação da utilização de resíduo de vidro de garrafas na produção de argamassa**. Universidade Estadual de Feira de Santana: Feira de Santana – Bahia. Julho, 2018.

MATA, T. M.; COSTA, C. A. V. *Life cycle assessment of different reuse percentages for glass beer bottles*. Springer Heidelberg, v. 6, n. 5, p. 307-319, 1 jan. 2001.

MATA, T. M. C. de P. **Comparação de processos de reutilização/reciclagem usando a metodologia de análise de ciclo-de-vida**. 1998. 176 p. Universidade do Porto. Portugal, 1998.

MARTINS, A. J. A.; ALMEIDA, M. L.; SOUZA, D. M. S. Análise das práticas de logística reversa aplicadas aos vasilhames de vidro em uma engarrafadora de bebidas. **Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**. Otimização de Recursos e Desenvolvimento. Rio de Janeiro - Resende: Outubro, 2015.

MARTINS, A. R. *et al.* **Análise do desempenho do bloco de solo-cimento considerando variações na quantidade de resíduo de vidro embalagens não retornáveis**. 8ª Jornada de Iniciação Científica, 2017. Instituto Federal do Tocantins.

MD VIDROS. **5 maneiras de reaproveitar garrafas de vidro na decoração**. Outubro, 2019. Disponível em: <<https://www.mdvidros.net.br/blog/5-maneiras-de-reaproveitar-garrafas-de-vidro-na-decoracao>>. Acesso em: 20 fev. 2022.

MESTRINER, F. **Design de embalagem - curso básico**. São Paulo: Makron Books, 2001.

MUTTAMARA, S.; VISVANATHAN, C.; ALWIS, K. *Solid-waste recycling and reuse in Bangkok*. Sage Publishing, v. 12, n. 2, p. 151-163, abr. 1994

NASCIMENTO, R. M. M. *et al.* **Embalagem Cartonada Longa Vida: Lixo ou Luxo?** Revista Química Nova na Escola. nº 25, maio 2007.

O-I GLASS. *How Glass Bottles and Jars are Made*. [20--]. Disponível em: <<https://www.o-i.com/our-story/how-glass-bottles-and-jars-are-made/>>. Acesso em: 12 fev. 2022.

_____. *Inside the O-I Glass Making Processes*. 2022. Disponível em: <<https://glass-catalog.com/na-en/glass-making-process/process#>>. Acesso em: 12 fev. 2022.

PRADO, M. R. **Análise do inventário do ciclo de vida de embalagens de vidro, alumínio e PET utilizadas em uma indústria de refrigerantes no Brasil**. Curitiba, 14 fev. 2007. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/8804/TESE_MarceloRealPrado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 fev. 2022.

RECICLA SAMPA. [S.l.]. Disponível em: <<https://www.reciclasampa.com.br/>>. Acesso em: 16 fev. 2022.

RIS. RECICLÔMETRO INOVAÇÃO E SISTEMAS. **Reciclômetro**. 2021. Disponível em: <<http://www.reciclometro.com/mais-detalhes.php>>. Acesso em: 17 fev. 2022.

_____. **Conheça os benefícios do programa**. 2019. Disponível em: <<http://www.reciclometro.com/beneficios.php>>. Acesso em: 17 fev. 2022.

REGI, R.; **Inventário do Ciclo de Vida da indústria vidreira no Brasil produtora de embalagens de vidro branco**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: Agosto, 2012.

RODRIGUES, C.; VIERA, A. F. G. **Estudos bibliométricos sobre a produção científica da temática tecnologias da informação e comunicação em bibliotecas**. Ribeirão Preto, vol. 7, n.1, p. 167 – 180. Agosto, 2016.

SAMPAIO, R. B. *et al.* A colaboração científica na pesquisa sobre coautoria: um método baseado na análise de redes. **Perspectivas em ciência da informação**, vol. 20, n. 4, p. 79 – 92. Dezembro, 2015.

SEBRAE. Centro SEBRAE de Sustentabilidade. **Pensamento do ciclo de vida: negócios conscientes à caminho da sustentabilidade**. Cuiabá, MT: 2017.

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

SEPURA. *Filter media success from recycled glass. Technology focus: Filtration + Separation. January/February*, 2017.

SOARES, B. M. C. **Estudo da resistência à corrosão de ligas de alumínio para embalagem de bebidas carbonatadas**. Tese de Doutorado – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP: [s. n.], 199 p., 2013.

SOARES, T. F. **Reciclagem do vidro para embalagens de alimentos e bebidas como etapa do Sistema de Gestão Ambiental**. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Minas Gerais: Novembro, 2018.

TETRA PAK. **Material das embalagens cartonadas da Tetra pak.** [20--?a]. Disponível em: <<https://www.Tetrapak.com/pt-br/solutions/packaging/packaging-material/materials>>. Acesso em: 06 fev. 2022.

_____. **Tetra pak Brasil.** [20--?b]. Disponível em: <<https://www.Tetrapak.com/pt-br/about-tetra-pak/the-company/tetra-pak-brasil>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

VALT, R. B. G. **Análise do ciclo de vida de embalagens de pet, de alumínio e de vidro para refrigerantes no brasil variando a taxa de reciclagem dos materiais.** Universidade Federal do Paraná: Curitiba, 2004.

VERALLIA. **As etapas de fabricação do vidro.** [202-?]. Disponível em: <https://br.verallia.com/s/processo-de-fabricacao-do-vidro?language=pt_BR>. Acesso em: 12 fev. 2022.

VGR. **VG Resíduos.** 2021 Disponível em: < <https://www.vgresiduos.com.br/>>. Acesso em: 16 fev. 2022.

VICKERS, E. **Economia Circular.** *Green Building Council – GBC.* 27 ago. 2019. Disponível em: < <https://www.gbcbrazil.org.br/economia-circular/>>. Acesso em: 14 fev. 2022.

WWF-BRASIL. **Conheça os benefícios da coleta seletiva.** 02 jun. 2008. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?14001/>>. Acesso em: 29 mar. 2022.

ZANCUL, E. S.; ROZENFELD, H. **Gestão do ciclo de vida de produtos: delimitação do escopo e proposta de definição.** A Engenharia de Produção e o Desenvolvimento Sustentável: Integrando Tecnologia e Gestão. XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Salvador: Out. 2009.