

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

**CICLO DE VIDA DAS EMBALAGENS DE VIDRO E
AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE RECICLAGEM NO
DISTRITO FEDERAL**

PAULO LACROIX AIRES

**ORIENTADOR: CLÁUDIO HENRIQUE DE ALMEIDA
FEITOSA PEREIRA**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA
AMBIENTAL**

BRASÍLIA / DF: MAIO/2021

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

**CICLO DE VIDA DAS EMBALAGENS DE VIDRO E
AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE RECICLAGEM NO
DISTRITO FEDERAL**

PAULO LACROIX AIRES

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

APROVADA POR:

**CLÁUDIO HENRIQUE DE A. F. PEREIRA, DOUTOR. (ENC/UNB)
(ORIENTADOR)**

**FRANCISCO JAVIER CONTRERAS PINEDA, DOUTOR. (ENC/UNB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**VICTOR S. L. BERNARDES, ENGENHEIRO CIVIL E AMBIENTAL
(EXAMINADOR EXTERNO)**

BRASÍLIA, 18 DE MAIO DE 2021.

FICHA CATALOGRÁFICA

AIRES, PAULO LACROIX. Ciclo de vida das embalagens de vidro e avaliação do processo de reciclagem no Distrito Federal.

xiv, 47p., 297mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2021)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

1. Avaliação de Ciclo de Vida;
2. Reciclagem;
3. Pegada de Carbono;
4. Embalagens de Vidro;
5. Canal Frio.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AIRES, P. L. (2021). *Ciclo de vida das embalagens de vidro e avaliação do processo de reciclagem no Distrito Federal*. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

CESSÃO DE CRÉDITOS

NOME DO AUTOR: Paulo Lacroix Aires

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Ciclo de vida das embalagens de vidro e avaliação do processo de reciclagem no Distrito Federal.

GRAU/ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2021

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Paulo Lacroix Aires

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Lauro e Veruska, por terem me proporcionado educação de qualidade e as oportunidades que tive até então, isso tudo com muito amor e carinho.

A minha irmã Gabriela por todo o apoio e companheirismo durante toda minha jornada.

A minha namorada Lorena, pelo carinho e apoio em todos os momentos da minha graduação.

Ao Ringo, meu companheiro durante todos os momentos de desenvolvimento deste projeto final.

A toda minha família, mas em especial à minhas avós, que sempre proporcionam momentos incríveis e de muito amor.

Aos meus amigos e amigas do “Churras Online”, “Wakeless”, “#NãoMexa” e da “Independência da Letônia” que estiveram comigo durante a minha graduação, e, principalmente, durante a pandemia, que me ajudaram a concluir mais essa etapa.

Aos meus parceiros e irmãos de longa data, Vitor e Matheus, que compartilhamos muitos momentos juntos e estamos crescendo cada vez mais.

A Larissa e ao Lucas que toparam iniciar um novo projeto após o final do curso. O reconhecimento e a confiança de vocês é essencial.

A todos meus amigos e amigas da Flua Consultoria Ambiental, empresa que fez parte da minha graduação de forma importantíssima, e que me moldou dentro da Universidade.

Aos professores e colegas do ENC, que tornaram minha graduação uma experiência engrandecedora.

Aos meus amigos e amigas de semestre do “PsicoKleube” que fizeram a minha graduação acontecer de forma mais leve, por todos os momentos que passamos juntos nesse período de UnB.

Ao meu orientador, Cláudio Henrique, pela disponibilidade, ajuda e compreensão durante estes semestres de projeto final.

Ao Roberto Bretas, da Green Ambiental, pelo fornecimento de informações específicas que agregaram de forma essencial ao projeto.

Ao meu Tio Júnior, que infelizmente se foi durante a pandemia, um companheiro que agora me acompanha e me guia de uma forma diferente.

A UnB, que com todas suas peculiaridades e sua diversidade conseguiu me transformar em um ser humano melhor e mais capacitado.

Enfim, a todas as pessoas que me apoiaram e torceram por mim durante minha trajetória até aqui, o meu agradecimento, vocês fazem parte disso.

RESUMO

Ciclo de vida das embalagens de vidro e avaliação do processo de reciclagem no Distrito Federal.

Autor – Paulo Lacroix Aires

Orientador – Claudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira

O gerenciamento e o ciclo de vida dos resíduos sólidos são assuntos de extrema importância nos três eixos do desenvolvimento sustentável: ambiental, econômico e social. As embalagens de vidro são resíduos que ocupam grandes espaços nos nossos aterros sanitários e tem grande potencial para reciclagem. Este projeto teve o objetivo de avaliar o cenário atual do ciclo de vida das embalagens de vidro advindas do canal frio do Distrito Federal e comparar seu impacto ambiental com potenciais cenários de implementação de uma indústria de reciclagem e produção de vidro tanto no Distrito Federal quanto no estado de Goiás. Para isso, foi utilizada a Avaliação do ciclo de vida, junto ao cálculo da pegada de carbono, por meio da ISO 14067, no transporte entre a empresa coletora e a indústria. Os resultados encontrados mostraram mudanças significativas em relação aos cenários avaliados, levando a conclusão de que caso seja economicamente viável a implementação de tal indústria em algum dos cenários pode ser benéfica.

Palavras-chave: Avaliação de Ciclo de Vida, Reciclagem, Pegada de Carbono, Embalagens de vidro, Canal Frio.

ABSTRACT

Life cycle of glass bottles and evaluation of the recycling process in the Federal District.

Author – Paulo Lacroix Aires

Advisor – Claudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira

The management and life cycle of solid waste are extremely important issues in the three axes of sustainable development: environmental, economical and social. Glass bottles is waste that occupies large spaces in our landfills and has great potential for recycling. In order to assess the current scenario of the life cycle of glass bottles from the cold channel of the Federal District and compare its environmental impact with potential scenarios for the implementation of a glass recycling and production industry both in the Federal District and in the state of Goiás. For this, the Life Cycle Assessment was used, together with the calculation of the carbon footprint, through ISO 14067, in the transport between the collecting company and the industry. The results found showed significant changes in relation to the evaluated scenarios, leading to the conclusion that if it is economically viable, the implementation of such an industry in any of the scenarios may be beneficial.

Keywords: Life Cycle Assessment, Recycling, Carbon Footprint, Glass bottles, Cold Channel.

LISTA DE FIGURAS

2.1- Etapa da Fusão do vidro.....	10
2.2- Fluxograma do processo de Soprado-Soprado de produção de vidro.....	11
2.3 - Fluxograma do processo de Prensado-Soprado de produção de vidro.....	12
2.4 - Gráfico velocidade de esfriamento.....	13
2.5 - Gráfico de distribuição de tipos de materiais	15
2.6 - Gráfico de materiais comercializados em 2019 no Distrito Federal.....	16
2.7 - Fases da ACV.....	17
3.1 - Fluxograma das etapas metodológicas.....	20
4.1 - Localização do terreno hipotético na Fercal.....	28
4.2 - Localização do terreno hipotético em Anápolis-GO.....	29
4.3 - Limite definido da etapa a ser estudada.....	29
4.4 - Rota até a unidade da Owen Illinois no Rio de Janeiro.....	31
4.5 - Rota até a unidade da Owen Illinois em São Paulo.....	32
4.6 - Rota até o terreno hipotético na Fercal.....	35
4.7 - Rota até o terreno hipotético no Distrito AgroIndustrial de Anápolis.....	37
4.8 - Embalagens de vidro comercializadas (toneladas).....	40

LISTA DE TABELAS

2.1 - Classificação de tipos de vidro por uso.....	8
3.1- Classificação Emissões de GEE.....	23
3.2 - Potencial de Aquecimento Global de Gases de Efeito Estufa.....	25
4.1 - Fator de Emissão de GEEs relacionado ao Diesel.....	30
4.2 - Número de viagens necessárias para cada localidade.....	33
4.3 - Consumo de Diesel por ano para cada localidade.....	33
4.4 - Quantidade emitida de cada GEE por ano nesta etapa do cenário atual.....	34
4.5 - Toneladas de carbono equivalente geradas por ano no cenário atual.....	34
4.6 - Número de viagens e consumo de diesel para o cenário potencial na Fercal.....	36
4.7 - Quantidade emitida de cada GEE no cenário potencial na Fercal.....	36
4.8 - Toneladas de carbono equivalente geradas por ano no cenário potencial na Fercal.....	36
4.9 - Número de viagens e consumo de diesel para o cenário potencial em Anápolis.....	37
4.10 - Quantidade emitida de cada GEE no cenário potencial em Anápolis.....	38
4.11 - Toneladas de carbono equivalente geradas por ano no cenário potencial em Anápolis.....	38
4.12 - Toneladas de carbono equivalente por tonelada de vidro reciclado.....	39
4.13 - Projeções de toneladas de carbono equivalente para 2021.....	41

LISTA DE EQUAÇÕES

3.1 - Cálculo de demanda potencial.....	21
3.2 - Cálculo da Pegada de Carbono.....	24
4.1 - Cálculo da emissão de cada componente por ano.....	30
4.2 - Cálculo do número de viagens necessárias por ano.....	32
4.3 - Consumo de diesel por ano.....	33

LISTA DE ABREVIATURAS

ABIVIDRO - Associação Brasileira das Indústrias de Vidro

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos
Especiais

ACV - Avaliação de Ciclo de Vida

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem

CH₄ – Gás Metano

CO₂ – Dióxido de Carbono

GEE - Gases de Efeito Estufa

ISO - *International Organization for Standardization*

NBR - Normas Brasileiras

NO₂ – Óxido Nitroso

ODS - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

PAG - Potencial de Aquecimento Global

PNMA - Política Nacional do Meio Ambiente

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

RPU - Resíduos Sólidos Públicos

RSD - Resíduos Sólidos Domiciliares

SLU - Serviço de Limpeza Urbana

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

TCO_{2e} - Toneladas de Carbono equivalente

UHE - Usina Hidrelétrica

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE EQUAÇÕES	ix
LISTA DE ABREVIATURAS.....	x
SUMÁRIO.....	xii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO DA PESQUISA	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 POLÍTICAS PÚBLICAS DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	3
2.1.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos	3
2.2 VIDRO	7
2.2.1 Classificação/Tipos de vidros	8
2.2.2 Aspectos químicos de embalagens de vidro	8
2.2.3 Aspectos físicos de embalagens de vidro	9
2.3 RECICLAGEM E PRODUÇÃO DE EMBALAGENS DE VIDRO	10
2.3.1 Fusão.....	10
2.3.2 Modelagem	11
2.3.3 Resfriamento	12
2.4 RECICLAGEM	13
2.4.1 Reciclagem no Brasil	14
2.4.2 Reciclagem de embalagens vidro no Distrito Federal	15
2.5 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA.....	16

2.5.1	Definição de objetivo e escopo	17
2.5.2	Análise de inventário	18
2.5.3	Avaliação de impacto.....	18
2.5.4	Interpretação da ACV	19
3.	METODOLOGIA	20
3.1	Levantamento de dados	21
3.2	Cálculo de demanda.....	21
3.3	Avaliação da destinação atual.....	21
3.4	Avaliação cenários potenciais	22
3.5	Cálculo da Pegada de Carbono	22
3.5.1	Gases de Efeito Estufa	24
3.6	Interpretação dos Resultados obtidos	25
4.	RESULTADOS.....	26
4.1	DEMANDA POTENCIAL.....	26
4.2	CENÁRIO ATUAL.....	26
4.3	CENÁRIO POTENCIAL	27
4.3.1	Fercal	27
4.3.2	Anápolis	28
4.4	PEGADA DE CARBONO	29
4.4.1	Definição do Limite do Sistema e Tempo.....	29
4.4.2	Emissão de GEE's no sistema	30
4.4.2.1	Transporte à Indústria no cenário atual	31
4.4.2.2	Transporte à Indústria no Cenário Potencial	35
4.4.2.2.1	Fercal.....	35
4.4.2.2.2	Anápolis	37
4.5	INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO.....	38

4.5.1	LIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	38
4.5.2	PEGADA DE CARBONO	39
5.	CONCLUSÕES.....	42
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	43
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1. INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais gerados pelos seres humanos estão cada vez mais evidentes. Ao longo dos anos, com os avanços técnicos e científicos, mais dados vem sendo gerados e é possível entender as consequências de cada atitude individual que é tomada.

Medidas mitigadoras servem para que se tenha uma melhor qualidade de vida e para que os recursos naturais não acabem. Atualmente, a Agenda Ambiental é uma das mais fortes em meio à comunidade internacional. Líderes de todos os países são cobrados com relação a suas atitudes neste quesito.

No panorama mundial, resíduos sólidos vem sendo um grande problema. O alto consumo e os métodos de produção atual estão gerando grandes impactos relacionados ao descarte de resíduos. Inclusive é tópico importante nos Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS), por meio do Objetivo nº12, “Consumo e Produção Sustentáveis”.

No Brasil, segundo panorama divulgado pela ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais) (2019), somente em 2018 foram gerados 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos. A situação brasileira mostra que grande parte da população não tem conhecimento sobre os impactos que gera. No Brasil a coleta seletiva não é algo difundido, os resíduos chegam muitas vezes misturados, dificultando muito que os resíduos sejam destinados da maneira correta. Como exemplo, segundo dados fornecidos pelo Serviço de Limpeza Urbana (2019), no Distrito Federal, aproximadamente 2% dos resíduos totais foram recolhidos por meio da coleta seletiva, mostrando o quão pouco abrangente é esta coleta.

Um princípio que vem sendo difundido globalmente para a melhora com relação à Resíduos Sólidos é o Princípio dos 3R's, que tem como fundamentos: Reduzir, Reutilizar e Reciclar.

A reciclagem é um dos processos para mitigar os impactos causados por cadeias de produção dos mais diversos materiais. As embalagens de vidro, que são o foco deste estudo, têm características excelentes para o processo de reciclagem e por ter

características físicas que dificultam sua disposição, a reciclagem se torna ainda mais importante, como colocado por Azinheira (2014).

Bares, restaurantes e hotéis fazem parte do chamado “Canal Frio”, que é quando a embalagem de vidro é consumida no local de sua compra. Segundo a ABIVIDRO (Associação Brasileira das Indústrias de Vidro), 60% das embalagens de vidro são consumidas no “Canal Frio”. Os bares, restaurantes e hotéis, por se enquadrarem como grandes geradores tem como dever se responsabilizar pela destinação deste resíduo.

Este estudo visa o maior entendimento do ciclo de vida de embalagens de vidro advindas do “Canal Frio” do Distrito Federal, para que seja possível entender, em partes, o contexto atual dessa unidade da federação com relação as etapas ligadas a reciclagem deste produto.

1.1 OBJETIVO DA PESQUISA

O objetivo geral deste projeto é avaliar o ciclo de vida das embalagens de vidro enfatizando o processo de reciclagem no contexto do Distrito Federal, tendo o foco em embalagens de vidro coletadas do “Canal Frio”.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O projeto tem como objetivos específicos:

- A descrição objetiva do cenário atual da destinação de embalagens de vidro vindas do “Canal Frio” no Distrito Federal;
- A criação de cenários potenciais para a análise da possibilidade de reciclagem no Distrito Federal e entorno das embalagens de vidro provenientes do “Canal Frio”; e
- A avaliação da pegada de carbono nos cenários atuais e propostos, para destinação adequada das embalagens de vidro coletadas no “Canal Frio” no Distrito Federal.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A fundamentação teórica deste projeto foi subdividida em cinco seções. Sendo elas, políticas públicas de resíduos sólidos, vidro, processos de produção e reciclagem de embalagens de vidro, reciclagem e, por último, avaliação de ciclo de vida.

2.1 POLÍTICAS PÚBLICAS DE RESÍDUOS SÓLIDOS

No ano de 1981 foi instituída a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), por meio da Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981. Porém, resíduos sólidos só começaram a ser tratados como questão de política pública a partir da Constituição Federal de 1988, quando as responsabilizações dos serviços de limpeza urbana (SILVA *et al.*, 2017).

No ano 1998, foi sancionada a Lei de Crimes Ambientais, na qual o Artigo 54 fala sobre resíduos sólidos, e tornou-se crime causar poluição por meio da disposição incorreta de resíduos.

Art. 54. Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora.

Em 2007, por meio da Lei nº11.445/07, foi aprovada a Política Nacional de Saneamento Básico, que foi um grande marco ambiental e a questão de Resíduos Sólidos esteve diretamente envolvida, pois limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos são considerados vertentes do Saneamento Básico.

2.1.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos

O grande marco na área de resíduos sólidos no Brasil foi em 2010, quando foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), por meio da Lei nº

12.305/2010. A lei tem como objetivo integrar a gestão e gerenciar adequadamente os resíduos sólidos no Brasil (BRASIL, 2010).

A PNRS estabelece a gestão compartilhada, entre sociedade, poder público e empresas, como aspecto indispensável para que a gestão dos resíduos sólidos seja efetiva em todo Brasil. Além disso, a política estabelece a sustentabilidade e a saúde humana como princípios de todas as ações governamentais nesse âmbito (MAIELLO *et al.*, 2017).

A logística reversa é um dos instrumentos presentes na PNRS para que haja a aplicação da gestão compartilhada. A própria lei define logística reversa no Artigo 3º, inciso XII.

Art. 3º Para os efeitos desta Lei, entende-se por:

XII- instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.

Porém, a logística reversa não se basta. Considerando-se que o consumidor apenas descartará corretamente os resíduos para que a logística reversa operacionalize seu retorno, se estiver conscientizado do seu papel e conhecer as etapas de retorno, nesse sentido a educação ambiental para viabilizar a logística reversa se torna premente (Domingues *et al.* 2016).

De acordo com Machado (2012), os princípios da lei 12305/2010 são de extrema importância para orientar os atores responsáveis, facilitando as tomadas de decisão. A PNRS estabeleceu 11 princípios norteadores descritos no Artigo 6º.

Art. 6º São princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

I - a prevenção e a precaução;

II - o poluidor-pagador e o protetor-recebedor;

III - a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;

IV - o desenvolvimento sustentável;

V - a ecoeficiência, mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e a redução do impacto ambiental e do consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta;

VI - a cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade;

VII - a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

VIII - o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania;

IX - o respeito às diversidades locais e regionais;

X - o direito da sociedade à informação e ao controle social;

XI - a razoabilidade e a proporcionalidade.

Além de instrumentos e princípios a PNRS estabeleceu objetivos que norteiam uma mudança de mentalidade com relação aos resíduos sólidos no Brasil. Para este trabalho, os incisos mais relevantes que o norteiam são:

Art. 7º São objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

I - proteção da saúde pública e da qualidade ambiental;

II - não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;

III - estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;

IV - adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais;

VI - incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;

VII - gestão integrada de resíduos sólidos;

VIII - articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos;

XI - prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, para:

a) produtos reciclados e recicláveis;

b) bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis;

XII - integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

XIII - estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto;

XIV - incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético;

Inclusive, tendo no inciso XIII, menção ao estímulo de aplicação da Avaliação de Ciclo de Vida de produtos, que é objetivo principal neste trabalho, tal qual o incentivo a reciclagem que é citado em diversos objetivos da lei.

2.2 VIDRO

O vidro é uma substância inorgânica, homogênea e amorfa, obtida através do resfriamento de uma massa em fusão (BARROS *et al.*, 2010). É um material de

utilização abrangente, utilizado para construção civil à embalagens utilizadas no dia a dia.

2.2.1 Classificação/Tipos de vidros

Existem classificações dos vidros com relação ao seu uso e sua composição químico-física. Inclusive, alguns tipos de vidro são recicláveis e outros não. O Centro de Informações sobre Reciclagem e Meio Ambiente classifica os tipos de vidro da forma representada na Tabela 2.1.

Tabela 2.1- Classificação de tipos de vidro por uso. Fonte: Centro de Informações sobre Reciclagem e Meio Ambiente (2011)

Tipos	Aplicações
Vidro para embalagens	garrafas, potes, frascos e outros vasilhames fabricados em vidro comum nas cores branca, âmbar e verde;
Vidro plano	vidros de janelas, de automóveis, fogões, geladeiras, microondas, espelhos, etc .
Vidros domésticos	tigelas, travessas, copos, pratos, panelas e produtos domésticos fabricados em diversos tipos de vidro;
Fibras de vidro	mantas, tecidos, fios e outros produtos para aplicações de reforço ou de isolamento;
Vidros técnicos	lâmpadas incandescentes ou fluorescentes, tubos de TV, vidros para laboratório, para ampolas, para garrafas térmicas, vidros oftálmicos e isoladores elétricos.

O objeto de estudo deste trabalho está dentro da classificação de vidros para embalagens, pois é um tipo de vidro que é enquadrado como reciclável.

2.2.2 Aspectos químicos de embalagens de vidro

Sua composição é feita, basicamente, a partir de: Sílica, Carbonato de cálcio e Carbonato de sódio. Sendo a Sílica o principal componente com 70% da composição do vidro.

A Sílica (SiO_2), abreviação para Dióxido de Silício, é formada a partir dos dois átomos mais abundantes na crosta terrestre, o Oxigênio e o Silício, tornando assim um componente muito presente no ambiente, facilitando a produção de embalagens de vidro. Sua utilização é vasta e segundo Gomes (2018), é um dos materiais mais versáteis, tanto cientificamente, quanto com relação às suas aplicações práticas.

2.2.3 Aspectos físicos de embalagens de vidro

Algumas das propriedades físicas mais importantes do vidro (GIACOMINI, 2005) são:

- Transmissão de luz/radiação, reflexão, absorção
- Índice de Refracção
- Propriedades Térmicas
- Resistência
- Dureza e Resistência à abrasão
- Durabilidade Química
- Durabilidade às Intempéries
- Densidade
- Resistência ao Fogo
- Isolamento Acústico

A densidade do vidro é um dos pontos mais importantes quando relacionado à sua disposição como resíduo. O vidro é um material com densidade alta, e normalmente, de grande volume fazendo com que seu transporte e disposição final sejam prejudicados, pois ocupam grandes espaços e são pesados.

Outro ponto importante para embalagens de vidro é a barreira para radiação. O vidro não chega a reter completamente a radiação, mas a minimiza fazendo com que o conteúdo seja menos exposto. Algo que embalagens de plástico não proporcionam, por exemplo.

A durabilidade química é uma propriedade dependente das concentrações de cada componente do vidro. Segundo Akerman (2000), para aumentar a durabilidade química,

incrementa-se óxido de alumínio na composição do vidro, algo em torno de 0,6% à 2,5%. Além disso, uma baixa concentração de cálcio ou alto teor de alcalinos levam à uma durabilidade química mais baixa.

2.3 RECICLAGEM E PRODUÇÃO DE EMBALAGENS DE VIDRO

O processo de reciclagem de uma embalagem de vidro consiste primeiramente na separação do vidro de outros resíduos por meio de uma cooperativa. Após essa separação as embalagens devem ser enviadas à uma indústria de reciclagem onde ocorrem a trituração/moagem e separação por cor dos cacos. Segundo a ABIVIDRO e Alves *et al.* (2001), 100% da embalagem de vidro pode ser reutilizada em sua forma de caco sem perder sua qualidade, sendo assim, um dos poucos materiais que pode ser reciclado em sua totalidade.

A produção de vidro no Brasil é ampla, tendo a média anual de 980 mil toneladas de embalagens de vidro (CEMPRE, 2011). O processo de produção das embalagens de vidro pode ser definido a partir de 3 etapas: Fusão, Modelagem e Resfriamento.

2.3.1 Fusão

Etapa onde são utilizados fornos que aquecem a matéria prima à, aproximadamente, 1600°C. O objetivo desta etapa é conseguir misturar e fundir as matérias primas, formando o vidro fundido, para posteriormente possibilitar a etapa de modelagem. A Figura 2.1 representa a etapa de fusão do vidro.

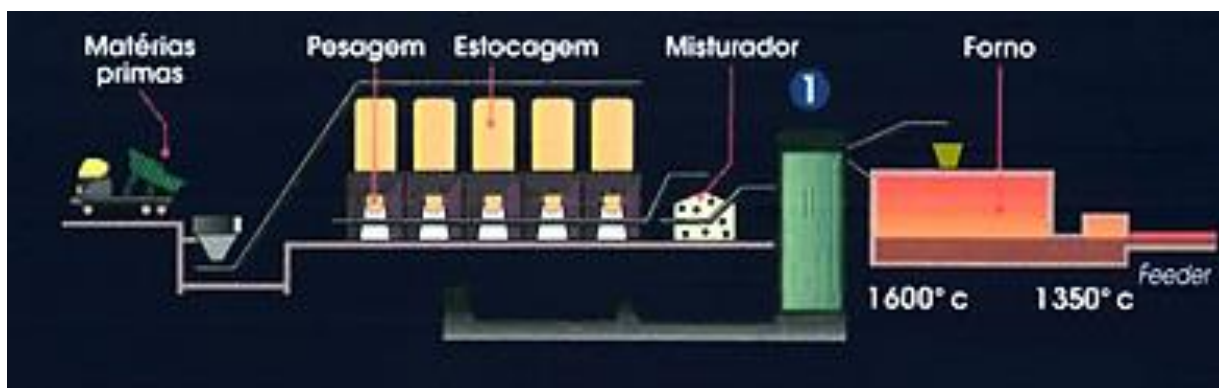


Figura 2.1 - Etapa da Fusão do vidro. Fonte: Indústria Hoje

Com relação à reciclagem de vidro, o vidro em cacos retorna ao processo produtivo nesta etapa. Onde são inseridos o vidro triturado em suas respectivas cores para nova produção. Os cacos de vidro normalmente compõem, segundo ABIVIDRO (2020), 40% da matéria utilizada, sendo os outros 60% constituídos por matéria prima “virgem”.

2.3.2 Modelagem

A moldagem é o processo em que se dá ao vidro o formato do produto gerado no final do processo. No caso das embalagens de vidro são utilizados os processos industriais de “Sopro”. O dois processo mais utilizados são o Soprado-Soprado e o Prensado-Soprado.

O processo considerado convencional é o Soprado-Soprado, que consiste na aplicação do vidro fundido em um molde e da injeção de ar comprimido em 2 etapas para que o vidro seja moldado no formato correto, como exemplificado na Figura 2.2.

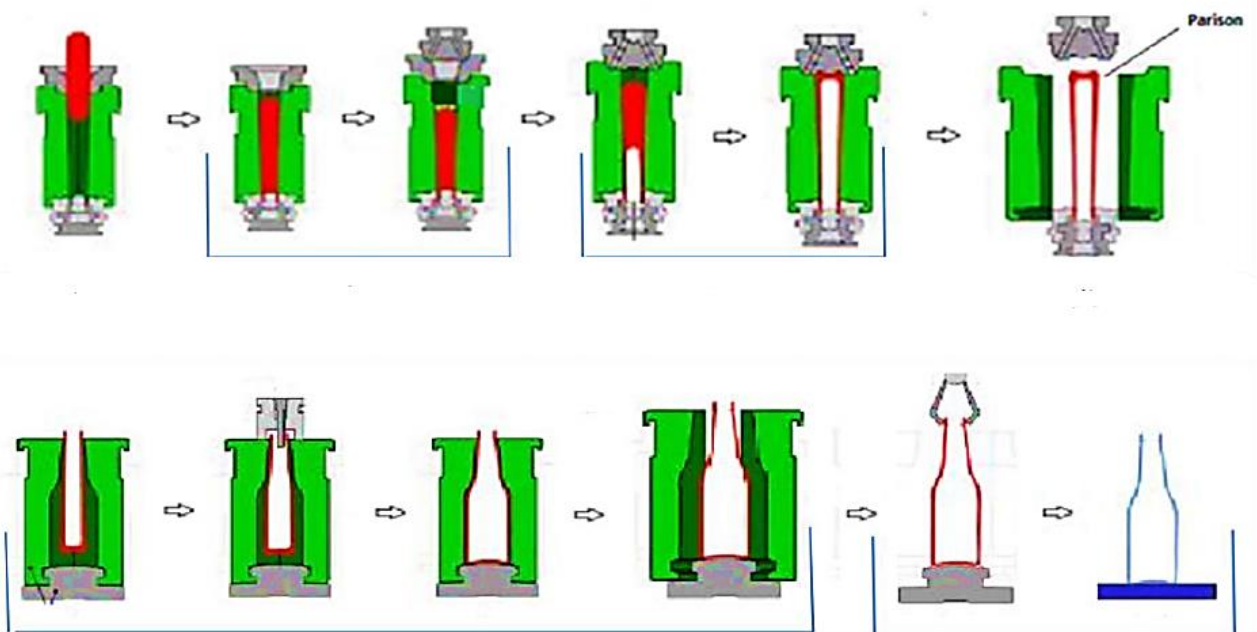


Figura 2.2 - Fluxograma do processo de Soprado-Soprado de produção de vidro.
Fonte: AZINHEIRA 2014, adaptado

O processo Prensado-Soprado, representado em fluxograma na Figura 2.3, gera um produto com menor peso e com melhor desempenho físico-mecânico. Devido à diminuição do peso, os custos de produção e transporte são menores (JAIME *et al.*, 2001). Em estudos realizados em garrafas de cerveja, a utilização do processo Prensado-Soprado demonstrou uma redução de 14% no peso de cada garrafa se comparado ao processo Soprado-Soprado (HU *et al.*, 2015).

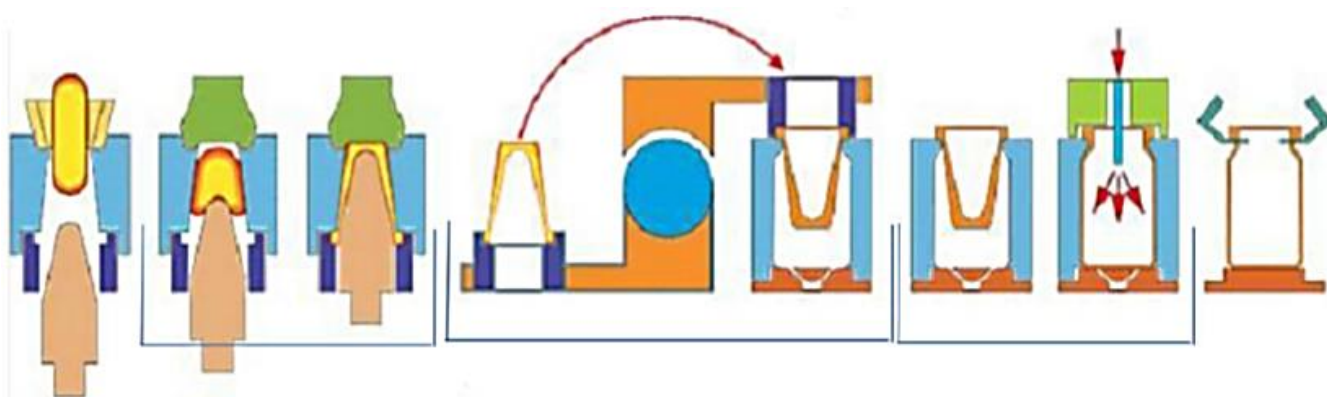


Figura 2.3 - Fluxograma do processo de Prensado-Soprado de produção de vidro.
Fonte: AZINHEIRA 2014, adaptado

2.3.3 Resfriamento

Esta etapa de produção é de extrema importância, o resfriamento consiste em resfriar o vidro por igual com temperatura controlada e variando de maneira gradual. Esta etapa do processo é fundamental para garantir a resistência do vidro. Segundo Akerman (2000), a velocidade de resfriamento influencia diretamente no volume específico do vidro, representado na Figura 2.4.

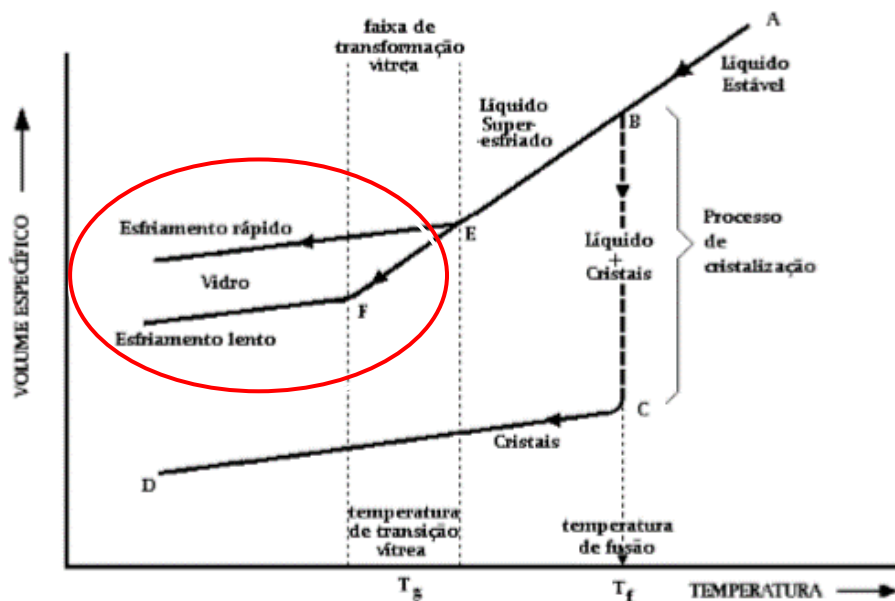


Figura 2.4 - Gráfico da velocidade de resfriamento Fonte: AKERMAN 2000, adaptado

Com o resfriamento rápido, segundo Akerman (2000), tem-se um menor tempo para rearranjar os átomos, fazendo com que o arranjo entre os átomos não ocorra completamente, gerando um maior volume e resultando em uma menor densidade.

2.4 RECICLAGEM

Segundo o Ministério do Meio Ambiente, “A reciclagem é um conjunto de técnicas de reaproveitamento de materiais descartados, reintroduzindo-os no ciclo produtivo”. A reciclagem tem papéis importantes tanto ambientalmente quanto economicamente.

A reciclagem reduz o volume de resíduos sólidos que iria para aterro ou lixão, reduz o uso de recursos naturais como matéria prima para produção de seus produtos, além de ser um processo que reduz a emissão de dióxido de carbono (CO₂), que seriam gerados na decomposição dos resíduos e os gases que seriam emitidos na extração de recursos naturais. E tem efeitos positivos em aspectos de poluição de solo e água.

Além dos impactos positivos no âmbito ambiental, a reciclagem tem como fator de importância, a grande geração de empregos. Os catadores e os trabalhadores da indústria têm a reciclagem como uma oportunidade. Segundo a Organização Internacional do Trabalho (2020), a reciclagem gera aproximadamente 24 milhões de empregos diretos mundialmente.

No mundo, países como Japão e Alemanha são referências no assunto, tanto com relação a tecnologias, quanto na educação da população, fazendo com que o processo de reciclagem seja facilitado e incentivado.

2.4.1 Reciclagem no Brasil

No Brasil em 2018, segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), somente 38,1% dos municípios brasileiros tem coleta seletiva e que no mesmo ano 923,3 mil toneladas de resíduos recicláveis secos foram recuperadas, que consistem em apenas 2,2% do total de RSD (Resíduos Sólidos Domiciliares) + RPU (Resíduos Sólidos Públicos) coletados.

Em dados presentes no Diagnóstico de Manejo de Resíduos Sólidos em 2018, tem-se a distribuição de materiais recicláveis referente aos resíduos recicláveis secos recuperados. Esta distribuição está representada na Figura 2.5.

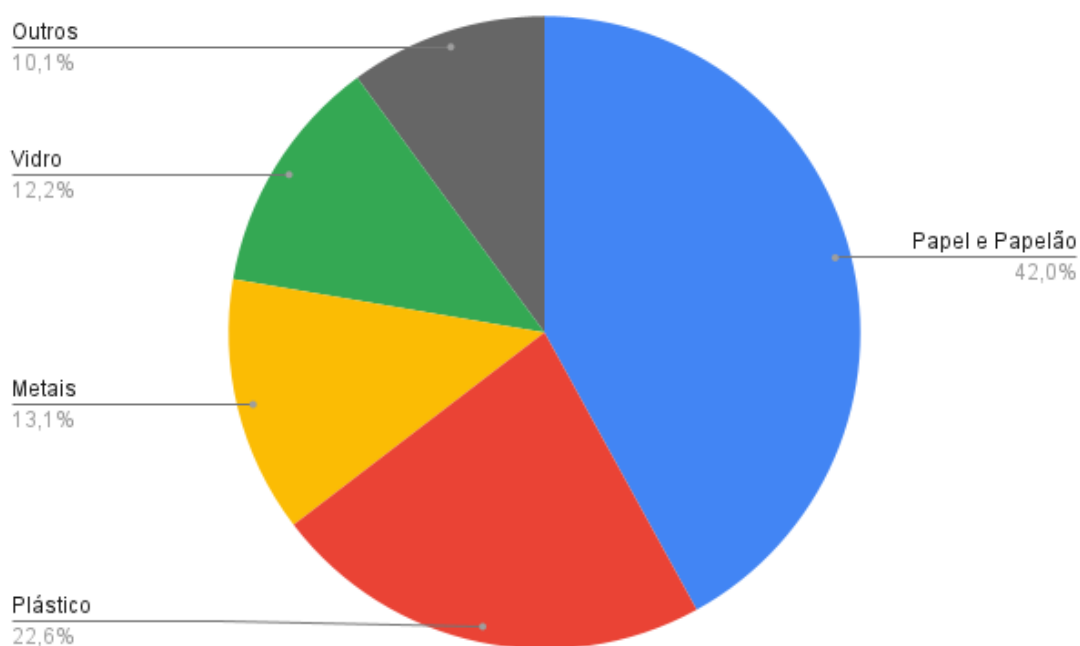


Figura 2.5 - Gráfico de distribuição de tipos de materiais. Fonte: Diagnóstico SNIS 2018

O vidro, constituiu em 2018, 12,2% dos materiais recicláveis recuperados, um aumento em relação ao ano de 2017, onde o vidro compunha 11,1% do total de resíduos recuperados.

2.4.2 Reciclagem de embalagens vidro no Distrito Federal

Como dito anteriormente, as embalagens de vidro são consideradas materiais 100% recicláveis, o que o torna um produto de ótima viabilidade para ser “explorados” pela indústria da reciclagem.

Em dados apresentados no Relatório Anual de 2019 do SLU, tem-se que 4303 toneladas de vidro foram comercializadas por cooperativas de triagem e coleta seletiva, constituindo 14% do total de materiais comercializados no ano de 2018, como visto na Figura 2.6.

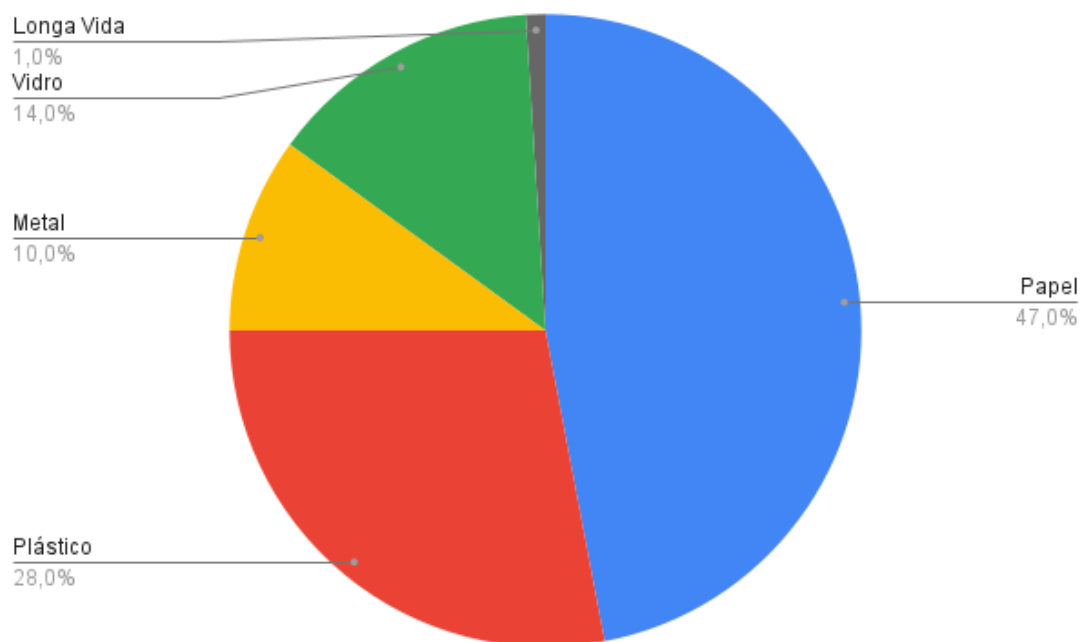


Figura 2.6 – Gráfico de materiais comercializados em 2019 no Distrito Federal. Fonte: Relatório Anual 2019 SLU-DF

Segundo o SLU (2019), o vidro é um material que apresenta dificuldades de reciclagem no DF pelo fato de as indústrias de reciclagem mais próximas se encontrarem nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. A dificuldade do transporte de embalagens de vidro devido à suas características físicas fazem com que os processos relacionados ao vidro se tornem mais complexos.

2.5 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA

A avaliação de ciclo de vida (ACV), é um instrumento de avaliação do impacto ambiental de determinado produto ou atividade (COLTRO, 2007). O ciclo de vida de um produto é definido pelo início do seu processo de produção até o seu fim, inclusive o seu processo de reciclagem, despejo ou reuso deve ser levado em consideração (VIGON, 1993). Com a ACV como ferramenta de gestão é possível analisar os impactos ambientais e, possivelmente, falhas em alguma etapa da vida do produto.

A ABNT NBR 14.040:2001 define os princípios e a estrutura de uma avaliação de ciclo de vida. E as etapas estruturadas em uma ACV estão representadas na Figura 2.7, abaixo.

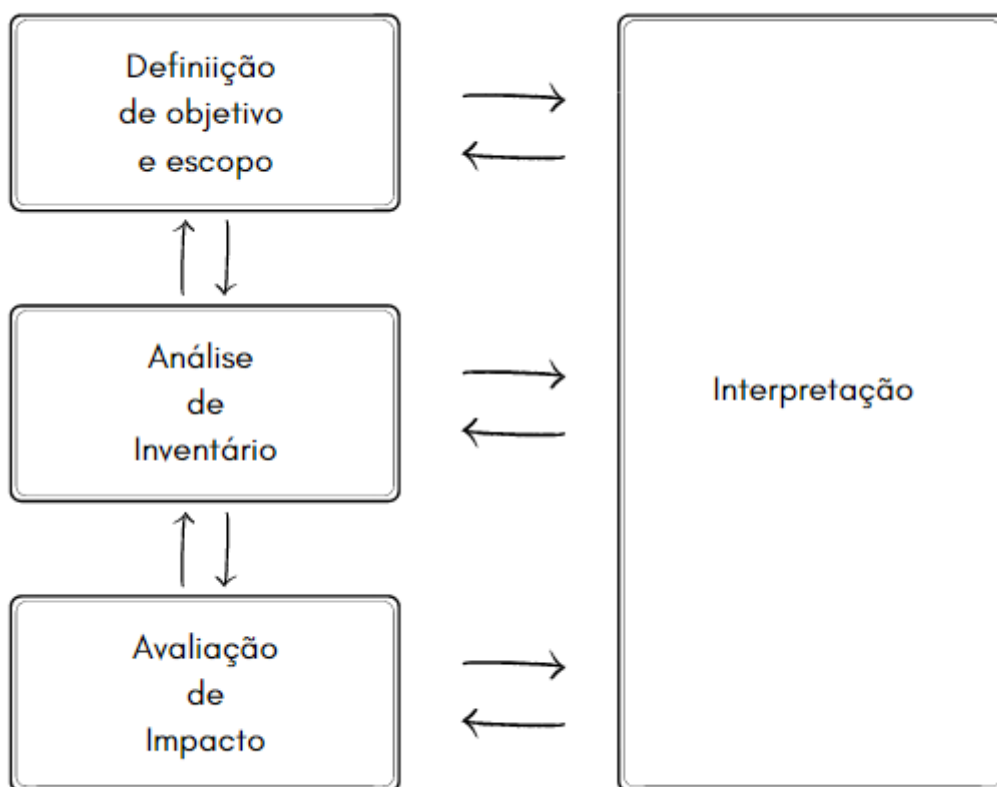


Figura 2.7 – Fases da ACV.

2.5.1 Definição de objetivo e escopo

A definição do objetivo e do escopo devem feitas de maneira clara e bem definida, e segundo a NBR 14.040:2001 alguns itens devem ser descritos, estes são:

- as funções do sistema de produto ou, no caso de estudos comparativos, dos sistemas;
- a unidade funcional;

- o sistema de produto a ser estudado;
- as fronteiras do sistema de produto;
- procedimentos de alocação;
- tipos de impacto e metodologia de avaliação de impacto e interpretação subsequente a ser usada;
- requisitos dos dados;
- suposições;
- limitações;
- requisitos da qualidade dos dados iniciais;
- tipo de análise crítica, se aplicável;
- tipo e formato do relatório requerido para o estudo.

Para Seo e Kulay (2006), de forma prática o conteúdo mínimo de um escopo de uma ACV devem ter: onde iniciar e parar o estudo do ciclo de vida (a extensão da ACV), quantos e quais subsistemas incluir (a largura da ACV) e o nível de detalhes do estudo (a profundidade da ACV).

2.5.2 Análise de inventário

A análise de inventário, segundo Vigon (1993), são fundamentais como base do estudo do ciclo de vida de algum produto ou objeto.

O inventário de ciclo de vida é constituído, segundo NBR 14.040:2001, por dados qualitativos e quantitativos e cálculos para definir valores de entrada e saída relacionados ao sistema do objeto de estudo em questão. Inclusive é um dos motivos pelo qual a definição clara de objetivo e escopo são importantes, pois as fronteiras do sistema do produto são de extrema importância neste momento do estudo.

2.5.3 Avaliação de impacto

Para Mendes (2015), esta é a fase que visa o melhor entendimento da significância ambiental do objeto de estudo. Nesta etapa utiliza-se dos resultados da análise do

inventário para conseguir realizar uma análise dos impactos ambientais. O detalhamento da avaliação, a decisão dos impactos a serem estudados e a metodologia utilizada dependem do objeto e do escopo definidos na primeira fase da ACV, como definido na NBR 14.040:2001.

2.5.4 Interpretação da ACV

A fase da interpretação é onde são feitas as constatações sobre a avaliação de impacto, gerando assim conclusões e recomendações que os tomadores de decisões irão utilizar para que sejam feitas alterações ou não no ciclo de vida do objeto de estudo. Segundo Seo e Kulay (2006), a ACV vem se constituindo, cada vez mais, em importante ferramenta de gestão, por ter um foco de abordagem sistêmico, identificando oportunidades de melhorias de forma técnica e objetiva.

3. METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido a partir de uma avaliação de ciclo de vida de embalagens de vidro advindas do “Canal Frio” do Distrito Federal.

Embalagens de vidro de bebidas podem ser 100% recicladas e, atualmente, o Distrito Federal não conta com indústrias de reciclagem especializada nesse material. O “Canal Frio” é objeto de estudo por se ter maior condição de rastreamento e definição de etapas fundamentais a montagem do projeto como um todo, além de representar a maior fração entre os canais de consumo de embalagens de vidro. Logo, embalagens de vidro de origem do “Canal Frio” tornou-se a escolha para que o projeto consiga ter relevância e resultados que possam ter seus impactos avaliados no contexto dos resíduos produzidos no Distrito Federal.

As etapas metodológicas deste projeto foram as representadas na Figura 3.1.

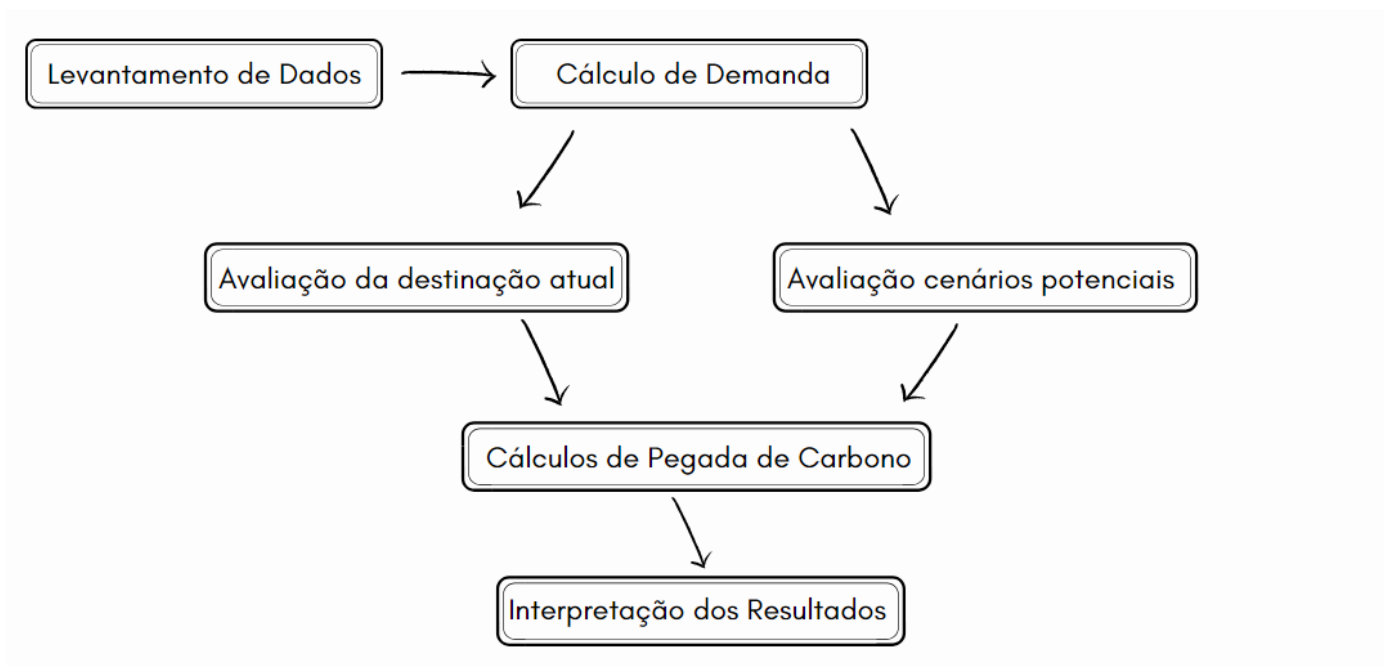


Figura 3.1- Fluxograma das etapas metodológicas

3.1 Levantamento de dados

Nesta etapa foram realizadas pesquisas em relatórios do Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal e entrevistas com gestores das empresas que comercializam vidro. O objetivo desta etapa foi obter dados de consumo de embalagens de vidro no Distrito Federal, com foco no canal frio, para assim conseguir prosseguir com o estudo dentro do escopo.

3.2 Cálculo de demanda

Os cálculos da demanda potencial de embalagens de vidro do canal frio para reciclagem no Distrito Federal foram realizados a partir da Equação 3.1, com os dados obtidos na etapa anterior e utilizando o parâmetro fornecido pela Associação Brasileira das Indústrias de Vidro. Segundo a ABIVIDRO (2011), 60% das embalagens são consumidas no Canal Frio.

Equação 3.1

$$Dp = Qp \cdot \alpha$$

Dp – Demanda potencial de embalagens pela indústria de reciclagem (toneladas)

Qp – Quantidade total de vidro comercializado (toneladas)

α – Parâmetro de embalagens vindas do Canal Frio (%)

3.3 Avaliação da destinação atual

A partir dos dados levantados e da demanda potencial obtida, foi feita uma avaliação qualitativa e quantitativa do modelo de cenário atual de embalagens de vidro no Distrito Federal. A pesquisa relativa ao cenário atual se deu majoritariamente por meio de documentos fornecidos pelos Órgão do Governo do Distrito Federal (GDF) relacionados ao tema e no Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal (SLU), assim como, com empresas atuantes na área.

O foco desta etapa do projeto foi buscar o que acontece com a embalagem de vidro após ser utilizada no “Canal Frio”, desde sua coleta e transporte à sua destinação final, e para isto foi elaborado um fluxograma, em software especializado, para retratar o cenário de forma visual.

3.4 Avaliação cenários potenciais

Primeiramente, foi montado um cenário potencial com a implementação de uma indústria de reciclagem de vidro no Distrito Federal. Para que isto ocorra, foram feitas pesquisas bibliográficas para analisar, ao máximo, o que envolve a implementação de um empreendimento como este, para que se tenham dados e informações suficientes para análises posteriores.

Além disso, foram realizadas consultas para definição de um possível local de construção de uma indústria de reciclagem de vidro. Estas consultas foram feitas por meio da Lei de Uso e Ocupação de Solo do Distrito Federal, assim como foram consultadas as empresas atuantes no ramo.

Para cada cenário será montado um fluxograma, assim como o que será efetuado para o cenário atual.

Caso haja a necessidade serão montados mais de um cenário potencial, e todos serão comparados e analisados no estudo.

3.5 Cálculo da Pegada de Carbono

Após a definição dos cenários, foram realizados os cálculos da pegada de carbono das embalagens de vidro no DF. Foram feitos os cálculos tanto para o cenário atual quanto para os cenários de mudança, para fins comparativos.

Segundo a *Carbon Trust* (2018), a pegada de carbono é o termo utilizado para a medição de gases de efeito estufa emitidos direta ou indiretamente por uma pessoa, empresa, evento ou produto. A ISO 14067 normatiza o cálculo de emissão de gases de efeito estufa (GEE's), e será utilizada como base metodológica para o cálculo da pegada de carbono. Para obtenção de um valor para pegada de carbono, os gases de efeito estufa são todos transformados para valores em CO₂.

Para realizar o cálculo da pegada de carbono de um produto foi seguido um escopo adaptado da ISO 14067. O escopo incluía as seguintes etapas:

- Definir o limite do sistema, incluindo o escopo do que vai ser avaliado;
- Obter dados das emissões de GEE's de cada objeto definido que será avaliado;
- Definir limite do tempo do sistema;
- Realizar as transformações de quantidades de GEE's emitidos para uma mesma unidade de medida;
- Definir limitações do estudo;
- Elaborar conclusões com os dados obtidos no estudo.

Ressalta-se que Mistage-Henríquez e Bilotta (2016), utilizaram a metodologia internacional chamada GHG Protocol para definir os itens a serem avaliados, e o presente estudo fez a avaliação das emissões de carbono seguindo o Escopo 1 que está representado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Classificação Emissões de GEE. Fonte: adaptada de Mistage-Henríquez e Bilotta (2016)

Classificação	Definição	Fontes de Emissão
Escopo 1: Emissões diretas de GEE.	Fontes Adquiridas ou controladas pela empresa.	Processos químico; Caldeiras, fornos, veículos, etc.
Escopo 2: Emissões indiretas de GEE por consumo de energia.	Geração de energia elétrica consumida pela empresa.	Geração de energia elétrica.
Escopo 3: Outras emissões indiretas de GEE.	Fontes não controladas pela empresa, mas que são consequências de suas atividades.	Extração, produção e aquisição de insumos; Combustíveis para o transporte de matéria-prima e produtos; Serviços gerados pela empresa.

O Escopo 2 e o Escopo 3, foram incluídos na discussão, porém, não foram utilizados no cálculo da pegada de carbono.

A equação 3.2, presente na ABNT ISO 14064, representa o cálculo da pegada de carbono utilizado nesta etapa do projeto, que é basicamente o somatório das toneladas de carbono equivalente de cada GEE avaliado.

Equação 3.2

$$PC = \Sigma(E_{gee} \times PAG)$$

PC = Pegada de Carbono em tCO₂e

E_{gee} = Emissão de Gás de Efeito Estufa em toneladas

PAG = Potencial de Aquecimento Global em tCO₂e/tonelada

3.5.1 Gases de Efeito Estufa

Segundo D'Amelio (2006), os principais gases do efeito estufa são:

- Vapor d'água (H₂O)
- Dióxido de Carbono (CO₂)
- Metano (CH₄)
- Óxido Nitroso (N₂O)
- Clorofluorcarbonetos (CFCs)
- Hidroclorofluorcarbonos (HCFCs)
- Ozônio (O₃)
- Hexafluoreto de Enxofre (SF₆)

Para este projeto serão analisados os gases de efeito estufa: Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄) e o Óxido Nitroso (N₂O). Porém, caso seja constatada a emissão significativa de algum outro gás em alguma das etapas do processo, ele será contabilizado.

Para o cálculo da pegada de carbono, as emissões de GEE's serão transformadas a partir da Tabela 3.2, com dados fornecidos pelo *Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol)*, atualizados pelo Programa Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) em 2014, de Potencial de Aquecimento Global (PAG), para o chamado Carbono Equivalente, as relações nesta tabela são para um horizonte de tempo de 100 anos.

Tabela 3.2 - Potencial de Aquecimento Global de Gases de Efeito Estufa. Fonte: GHG Protocol

Compostos	Fórmula química	Potencial de Aquecimento Global (Horizonte de tempo de 100 anos)
Dióxido de Carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	28
Óxido Nitroso	NO ₂	265

3.6 Interpretação dos Resultados obtidos

Após todos os resultados dos cálculos obtidos, foi feita uma interpretação comparativa de todos os cenários avaliados. A partir da interpretação destes dados se poderá entender a viabilidade da mudança real no cenário do Distrito Federal, pelo ponto de vista ambiental.

4. RESULTADOS

4.1 DEMANDA POTENCIAL

Em 2020, segundo a Green Ambiental, foram coletadas 7.000 toneladas de embalagens de vidro. Segundo a ABIVIDRO, aproximadamente 60% da geração de embalagens de vidro se dá pelo Canal Frio, neste projeto foi utilizada esta porcentagem para representar a quantidade de vidro que seria coletada de bares, restaurantes e hotéis.

Os dados fornecidos pela própria empresa mostram que o mercado para comercialização de embalagens de vidro vem crescendo ano após ano. O ano de 2020 foi o de maior comercialização mesmo com os efeitos da pandemia de COVID19, mesmo com a paralisação total que a empresa enfrentou em um período do ano de 2020.

Então, utilizando estes dados e a Equação 3.1, estima-se que 4200 toneladas de vidro venham do canal frio no Distrito Federal, e este dado será utilizado como base para os cálculos da pegada de carbono.

4.2 CENÁRIO ATUAL

Atualmente, no Distrito Federal, algumas empresas e associações que coletam os resíduos de vidro do canal frio. A Green Ambiental é a empresa mais forte no ramo, tendo em vista que, é responsável por, aproximadamente, 90% do vidro coletado e comercializado no DF. E por isso, para este projeto foi utilizado como referência o processo operacional da empresa Green Ambiental.

As principais empresas e cooperativas do Distrito Federal que fazem a coleta de resíduos de grandes geradores estão situadas no STRC (Setor de Transportes Rodoviários e Cargas), região com o uso e ocupação do solo reservado para uso industrial e de abastecimento.

Após a coleta no canal frio, e nos pontos de entrega voluntárias (PEV) as embalagens são encaminhadas para os galpões no STRC e de lá, após passarem por manipulações para certificar-se que outros materiais não estão misturados, as embalagens de vidro são

transformadas em caco, por meio do processo de trituração. A partir daí, 80% dos cacos de vidro vão para o Rio de Janeiro, os outros 20% são destinados para São Paulo. Sendo assim, 5600 toneladas são enviadas a cidade do Rio de Janeiro e 1400 toneladas a cidade de São Paulo. Nestas duas cidades estão situadas fábricas de produção da Owen Illinois, empresa líder, mundialmente, na reciclagem e produção de embalagens de vidro. Segundo a ABIVIDRO (2018), a empresa é a maior fabricante de embalagens de vidro do mundo, com uma receita em 2017 de mais de U\$ 6,9 bilhões, com 78 fábricas em 23 países.

4.3 CENÁRIO POTENCIAL

O cenário potencial seria representado por uma mudança na destinação final, onde os cacos de vidro não seriam enviados para outros estados para sua reciclagem e sim para uma indústria especializada no próprio Distrito Federal.

4.3.1 Fercal

A Lei Complementar de Uso Ocupação do Solo do Distrito Federal foi balizadora na decisão para a escolha de um local potencial para implementação da indústria de produção de vidro, para que legalmente não se tenha problemas.

O local avaliado e proposto seria na Fercal, situada na região norte do Distrito Federal. A Fercal é a Região Administrativa XXXI do DF, e tem, aproximadamente, 32.000 habitantes, segundo a própria administração regional do local. Nesta localidade existem terrenos propícios a serem utilizados, além de já ser um local que possui grandes indústrias, principalmente as do ramo cimentício.

O terreno hipotético escolhido seria de, aproximadamente, 100.000 m². O limite do terreno e sua localização estão representados nas Figura 4.1 a seguir.



Figura 4.1 - Localização do terreno hipotético na Fercal

4.3.2 Anápolis

Um outro cenário avaliado foi na cidade de Anápolis, no estado de Goiás. A escolha desta localidade se deu pelo fato de lá se encontrar a cervejaria de grande porte mais próxima de Brasília. O fato da indústria ser localizada no mesmo local das cervejarias faria com que uma etapa do transporte no ciclo de vida das embalagens diminuísse consideravelmente.

A cidade de Anápolis é localizada à sudoeste do Distrito Federal e sua distância é de, aproximadamente, 150 km. A região escolhida para localização hipotética da indústria de vidro foi no Distrito AgroIndustrial de Anápolis, em um terreno de 120.000 m², representado na Figura 4.2.



Figura 4.3.2 - Localização do terreno hipotético em Anápolis-GO

4.4 PEGADA DE CARBONO

4.4.1 Definição do Limite do Sistema e Tempo

Para iniciar o cálculo da pegada de carbono foram delimitadas as fronteiras do sistema, que está representada na Figura 4.3.

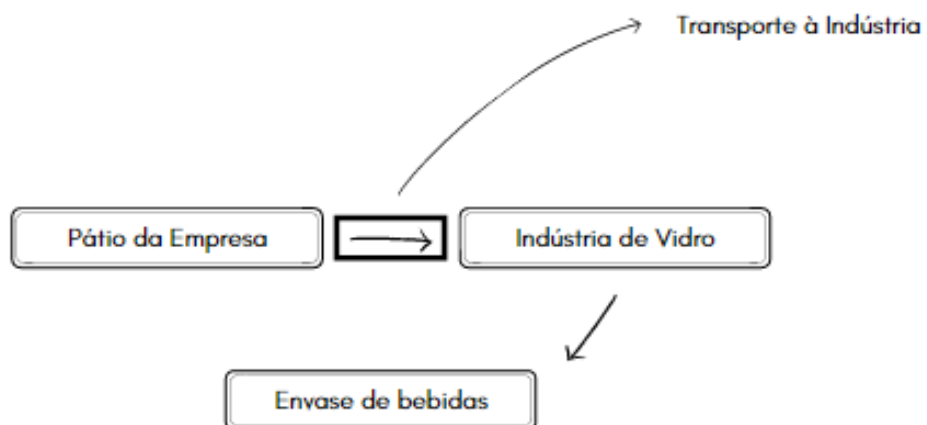


Figura 4.3 - Limite definido da etapa a ser estudada

Foi definido o sistema para o cálculo da pegada de carbono que abarcaria somente o transporte do pátio da empresa à indústria de vidro, utilizando a metodologia *bottom-up*. A escolha dessa fronteira se deu pelo fato de ser a etapa de maior impacto na diferença da pegada de carbono dos possíveis cenários.

Foi definido que o estudo seria feito com base no ano de 2020, pois apesar da desaceleração devido à pandemia, foi um ano de crescimento de comercialização de embalagens de vidro no DF.

4.4.2 Emissão de GEE's no sistema

O consumo de Diesel foi avaliado como o grande gerador de poluição neste sistema, por ser a grande matriz energética no setor dos transportes. Como forma de quantificar em GEE a queima de Diesel foi transformada nas relativas emissões de Dióxido de Carbono, Metano e Óxido Nitroso. A Equação 4.1 foi utilizada para tal aproximação. Os fatores de emissão utilizados neste projeto se encontram Tabela 4.1 abaixo, adaptada de Silva (2018).

Equação 4.1

$$Ex = Ct \cdot \beta x$$

Ex = Emissão do poluente x no ano (kg)

Ct = Consumo de diesel ano (litros)

β = fator de emissão do poluente x (kg/litros de diesel)

Tabela 4.1 - Fator de emissão de GEE's relacionado ao Diesel. Fonte: adaptada de Silva (2018)

Queima de Diesel		
Emissões de CO ₂	kg/litro de diesel	2,86
Emissões de CH ₄	kg/litro de diesel	2,09
Emissões de NO ₂	kg/litro de diesel	0,000105

4.4.2.1 Transporte à Indústria no cenário atual

Segundo o CEO da Green Ambiental, os caminhões utilizados para este transporte são caminhões Rodotrem e Bitrem, ambos com uma capacidade média de 60 toneladas. As rotas realizadas atualmente no transporte dos cacos de vidro são de 1022km para indústria em São Paulo e 1163km para o Rio de Janeiro. Estes dados foram obtidos a partir da ferramenta Google Maps, em abril de 2021, onde foi escolhido a menor rota até a localidade, e com uma avaliação de compatibilidade para os veículos transportadores.

As Figuras 4.4 e 4.5, representam estas rotas, para as unidades da *Owen Illinois* no Rio de Janeiro e em São Paulo, respectivamente.

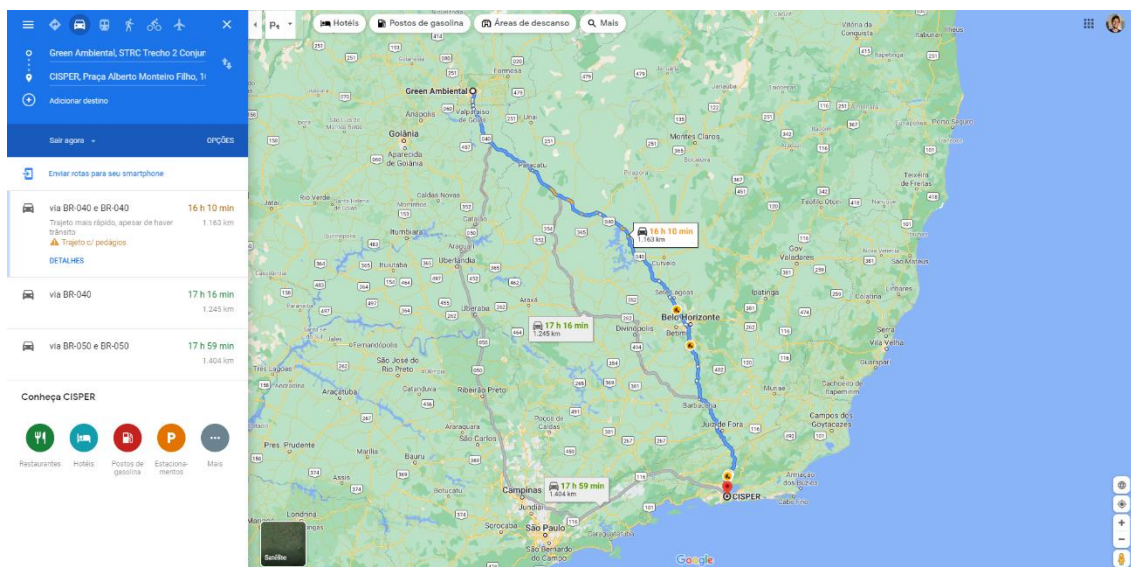


Figura 4.4 - Rota até a unidade da Owen Illinois no Rio de Janeiro

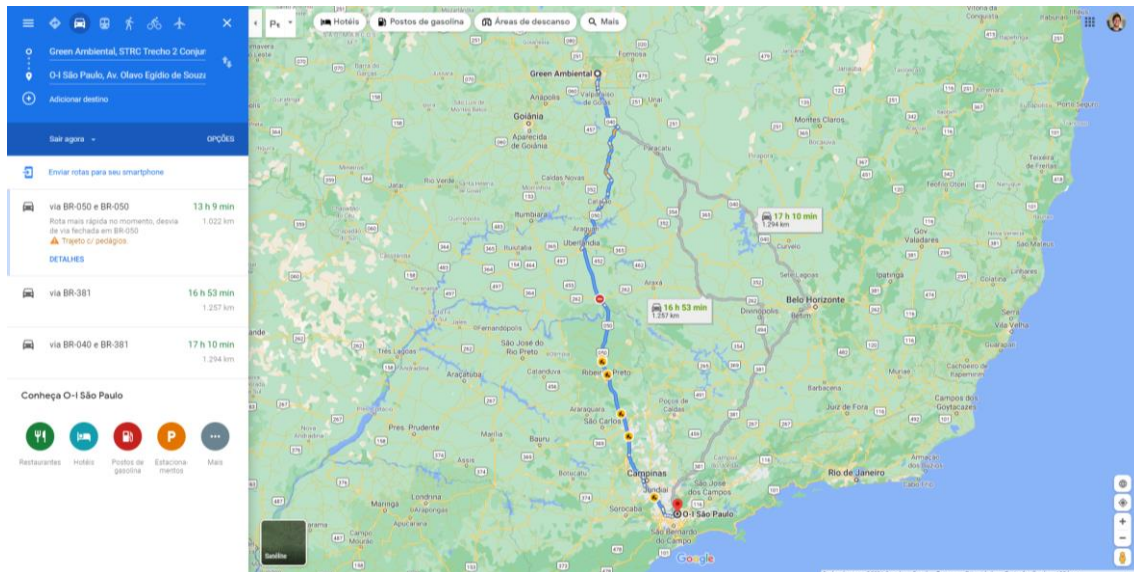


Figura 4.5 - Rota até a unidade da Owen Illinois em São Paulo

Para iniciar a quantificação de toneladas de carbono equivalente emitido, fez-se o cálculo do número de viagens realizadas por ano à cada localidade. A Equação 4.2 foi utilizada. E os resultados são encontrados na Tabela 4.2.

Equação 4.2

$$Nv = \frac{Qpe}{Cc \cdot f}$$

Nv = Número de viagens por ano

Qpe = Quantidade de vidro comercializado para cada cidade por ano (t)

Cc = Capacidade do caminhão (t)

f = Fator de compactação do caminhão

Tabela 4.2 - Número de viagens necessárias para cada localidade

Cidade	Número de Viagens
Rio de Janeiro	56
São Paulo	14

O consumo de litros de diesel por ano foi calculado a partir da Equação 4.3, tanto para o Rio de Janeiro quanto para São Paulo, utilizando o valor de 0,03 como o fator de consumo de combustível, assim como proposto por Merrild *et al.* (2012). E o fator de proporcionalidade escolhido foi de 0,5, assim como utilizado por Silva (2018). E os resultados para cada cidade encontram-se na Tabela 4.3.

Equação 4.3

$$Ct = [(1+\alpha) \cdot (f \cdot D \cdot Cc)] \cdot Nv$$

Ct = Consumo de diesel por ano (l)

α = Fator de proporcionalidade, relacionado à volta do caminhão vazio

f = Fator de consumo de combustível do caminhão (l/t.km)

D = Trajeto dos caminhões (km)

Cc = Capacidade do caminhão (t)

Nv = Número de viagens por ano

Tabela 4.3 - Consumo de diesel por ano para cada localidade

Cidade	Consumo de Diesel (L por ano)
Rio de Janeiro	175846
São Paulo	38632

Com isso foi possível quantificar o consumo total de diesel por ano, a partir da soma dos resultados entre o trajeto ao Rio de Janeiro e à São Paulo. O resultado obtido foi de 214.477 l de diesel/ano.

Após a obtenção deste resultado foi calculado quanto de cada GEE foi emitido. Este cálculo foi feito a partir dos fatores de emissão de cada gás por litro de diesel, demonstrado na Equação 4,1. E foram obtidos os seguintes resultados, presentes na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Quantidade emitida de cada GEE por ano nesta etapa do cenário atual

GEE	Quantidade Emitida (kg)	Quantidade Emitida (t)
CO2	613405	613,404792
CH4	448257	448,257348
NO2	23	0,022520106

A partir daí foi feita a equivalência de carbono, utilizando a Tabela 3.2. Com isso foi obtido os seguintes valores de equivalência, representados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Toneladas de Carbono equivalente geradas por ano no cenário atual

GEE	tCO ₂ e
CO2	613,40
CH4	12551,21
NO2	5,97
Total	13170,58

O resultado da pegada de carbono dessa etapa do ciclo de vida para o atual cenário foi de 13.170,58 tCO₂e.

4.4.2.2 Transporte à Indústria no Cenário Potencial

4.4.2.2.1 Fercal

A distância do terreno hipotético escolhido na Fercal até o pátio da Green Ambiental é de 33,6 km. A rota foi fornecida pela ferramenta Google Maps, em maio de 2021, e está representada na Figura 4.6.

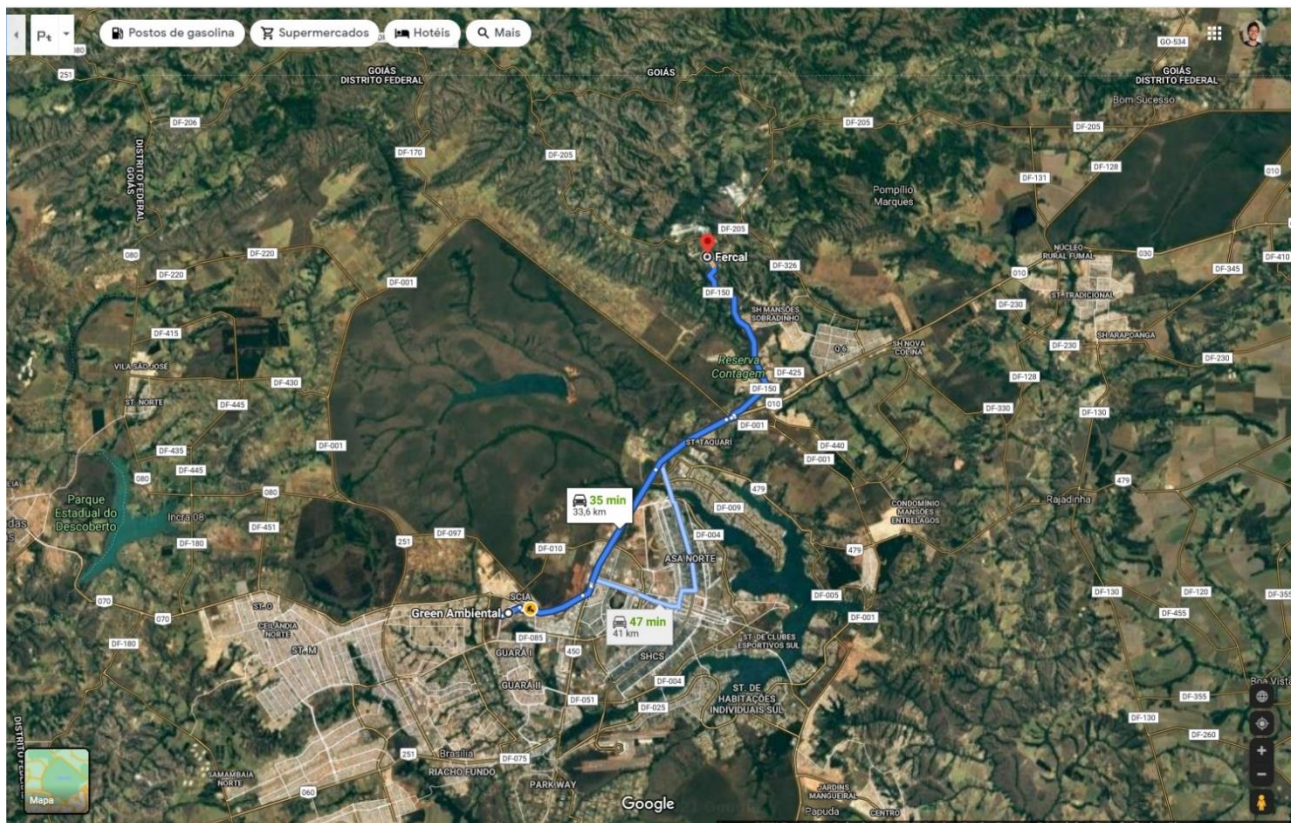


Figura 4.6 - Rota até o terreno hipotético na Fercal

Nesta etapa foi utilizada a mesma metodologia do cálculo do cenário atual. Os resultados para o cenário potencial de uma indústria de vidro na região da Fercal encontram-se nas Tabelas 4.6 e 4.7.

Tabela 4.6 - Número de viagens e consumo de diesel para o cenário potencial na Fercal

Cenário Potencial - Fercal	
Nv - Número de Viagens	70
Consumo de Diesel por ano (L)	6350,4

Tabela 4.7 - Quantidade emitida de cada GEE no cenário potencial na Fercal

GEE	Quantidade Emitida (kg)	Quantidade Emitida (t)
CO2	18162,14	18,16
CH4	13272,34	13,27
NO2	0,67	0,00067

A partir destes resultados, foram obtidos os resultados em toneladas de carbono equivalente para o cenário potencial, mostrados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 -Toneladas de Carbono equivalente geradas por ano no cenário potencial na Fercal

GEE	tCO ₂ e
CO2	18,16
CH4	371,63
NO2	0,18
Total	389,96

Assim sendo o valor total foi de 389,96 tCO₂e.

4.4.2.2 Anápolis

A distância da rota até o terreno hipotético escolhido em Anápolis é de, aproximadamente, 152 km, como mostrado na Figura 4.7.

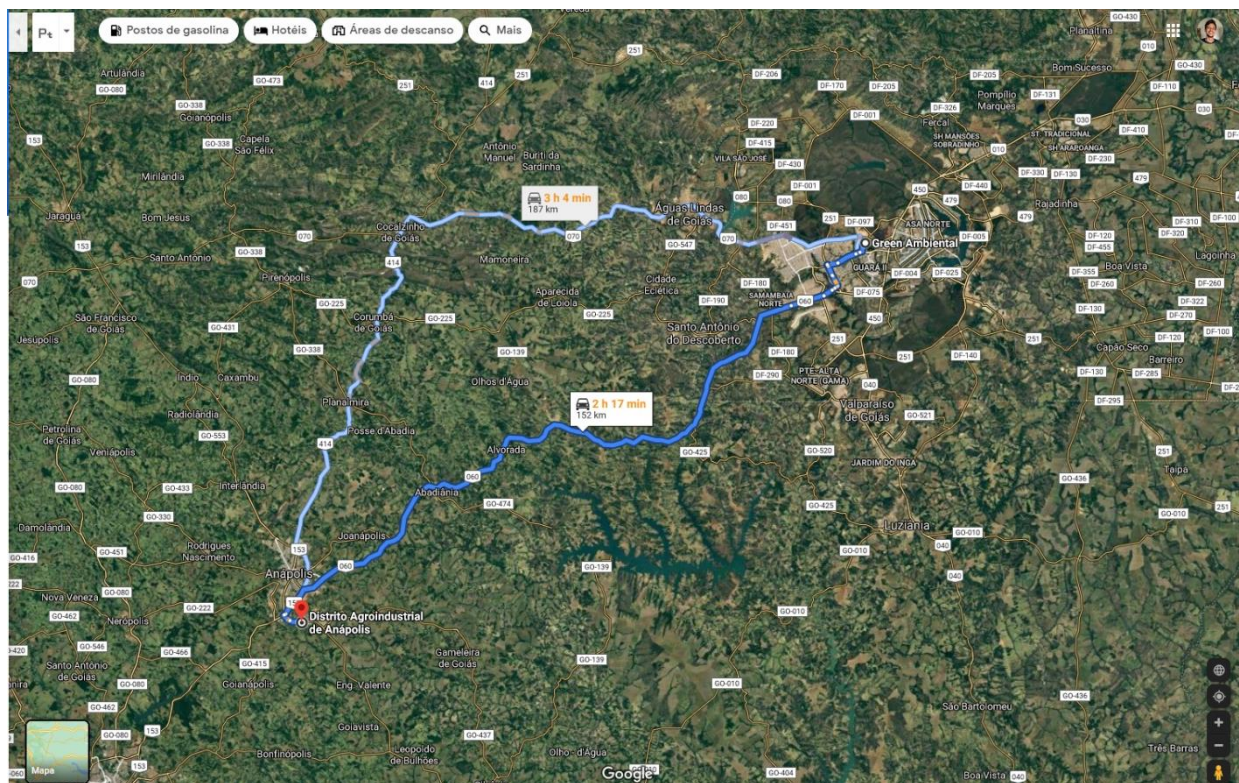


Figura 4.7 - Rota até o terreno hipotético no Distrito AgroIndustrial de Anápolis - GO

Utilizando os mesmos métodos anteriores chegou-se nos resultados apresentados nas Tabelas 4.9, 4.10 e 4.11.

Tabela 4.9 - Número de viagens e consumo de diesel para o cenário potencial em Anápolis

Cenário Potencial - Anápolis	
Nv - Número de Viagens	70
Consumo de Diesel por ano (L)	28728

Tabela 4.10 -Quantidade emitida de cada GEE no cenário potencial em Anápolis

GEE	Quantidade Emitida (kg)	Quantidade Emitida (t)
CO2	82162,08	82,16
CH4	60041,52	60,04
NO2	3,02	0,00302

Tabela 4.11 - Toneladas de Carbono equivalente geradas por ano no cenário potencial em Anápolis

GEE	tCO2e
CO2	82,16
CH4	1681,16
NO2	0,80
Total	1764,12

Sendo assim tem-se que a emissão seria de 1.764,12 toneladas de carbono equivalente para este cenário.

4.5 INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO

4.5.1 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

A avaliação da pegada de carbono no ciclo de vida de embalagens de vidro foi feita para fins comparativos entre uma possível implementação do processo de reciclagem de vidro no Distrito Federal. A definição do sistema foi feita a partir de uma avaliação de que o transporte entre o pátio da empresa de coleta e a indústria de vidro seria a etapa do processo com maior diferença na emissão de carbono equivalente.

Porém, existem dois fatores, relacionados a pegada de carbono, que podem ser relevantes que não foram avaliados neste estudo: a diferença entre as matrizes energéticas do Distrito Federal, do Rio de Janeiro e de São Paulo; e a distância da indústria de produção de embalagens e à indústria de envase de bebidas.

Para este estudo, foi considerado que a matriz energética da região sudeste e da região centro-oeste do Brasil são parecidas, dada que, segundo a ANEEL (Agência

Nacional de Energia Elétrica), em ambas a produção de energia elétrica vem, majoritariamente, de UHEs (Usinas Hidrelétricas).

A distância entre a indústria de produção de embalagens de vidro e a de envase no cenário atual é pequena, dado que na cidade do Rio de Janeiro e em São Paulo existem muitos fabricantes de bebidas, que se encontram em um raio de 15 km das indústrias de vidro avaliadas. No caso do Distrito Federal não há uma grande fábrica produtora de bebidas, a mais próxima é no estado de Goiás, à 150 km de Brasília. E por este motivo, foram feitos dois cenários potenciais, um em Anápolis e outro na Fercal.

Outro ponto de limitação foi a escolha das localidades. Apesar de ambas as localidades estarem de acordo com relação ao uso e ocupação do solo, não foram avaliadas questões hídricas, porém, como nos dois cenários potenciais os terrenos encontram-se em localidades já com grandes indústrias não deve haver problemas.

4.5.2 PEGADA DE CARBONO

Com base nos cálculos feitos mostra-se uma redução de 97% na emissão de carbono equivalente em um ano com relação ao cenário Fercal e de 86,6% em relação ao cenário Anápolis. O que é equivalente à uma redução em toneladas de carbono por tonelada de embalagens de vidro para reciclagem, Tabela 4.12.

Tabela 4.12 - Tonelada de carbono equivalente por tonelada de vidro reciclado

	tCO ₂ e / t de vidro para reciclagem
Cenário Atual	3,14
Cenário Potencial Fercal	0,09
Cenário Potencial Anápolis	0,42

Considerando que as projeções para este mercado são de crescimento nos próximos anos, cada vez mais os esta mudança de cenário se tornaria benéfica em termos absolutos de emissão de GEE's. Além do fato que neste estudo foi considerada somente

a parcela de embalagens de vidro do Canal Frio, correspondentes a, aproximadamente, 60% do total coletado.

Desde 2018 a quantidade de embalagens de vidro coletadas e comercializadas no Distrito Federal vem crescendo. Com base nos dados até maio de 2021, caso a Green Ambiental mantenha a média de toneladas coletadas até o mês de maio, a quantidade de vidro coletado e comercializado subiria para, aproximadamente, 12000 toneladas por ano no total e 7.200 toneladas vindas do Canal Frio, um aumento de mais de 70% com relação à 2020. Lembrando que devido à pandemia de Covid19 a coleta de vidros no Canal Frio está limitada, pois diversos bares e restaurantes encontram-se fechados, funcionando por entregas ou com restrição de horários, o que mostra que em um cenário pós-pandêmico pode-se ter uma demanda ainda maior. Como mostrado graficamente na Figura 4.8.

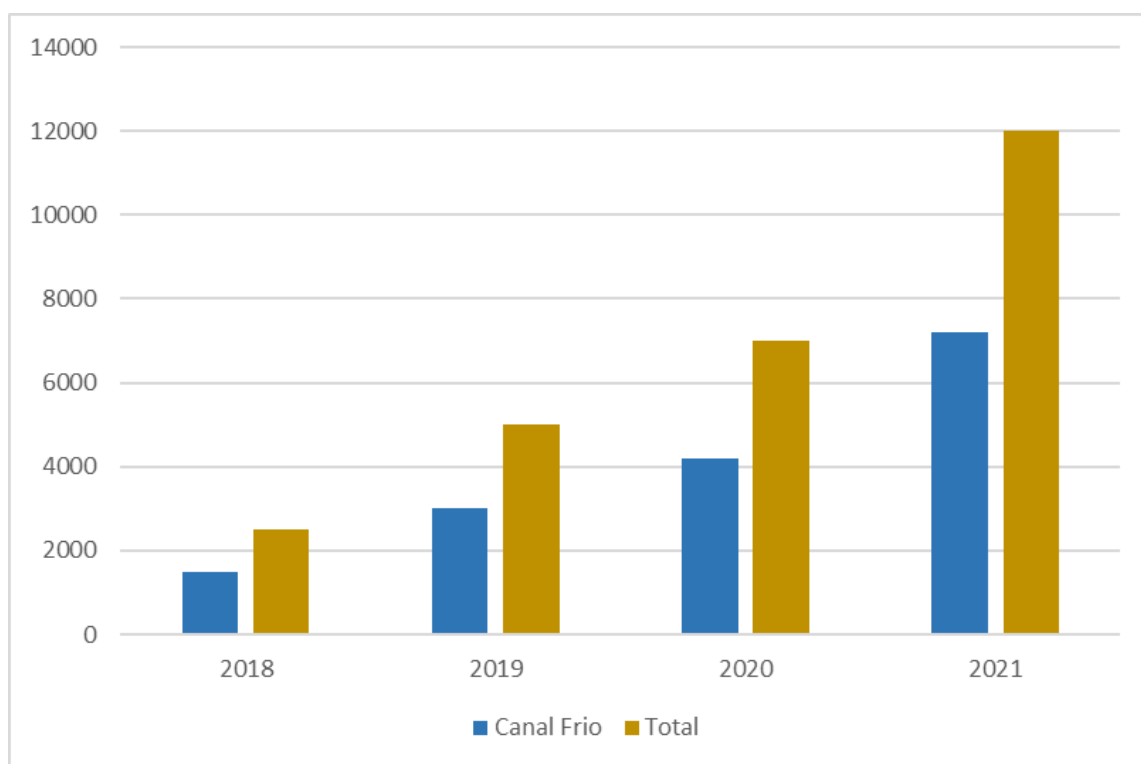


Figura 4.8 - Embalagens de vidro comercializadas (toneladas)

Utilizando esta projeção para o ano de 2021, no cenário atual seriam emitidas mais de 22.500 toneladas de carbono equivalente na atmosfera terrestre, no caso dos cenários potenciais, a emissão diminuiria para 668,51 tCO₂e e 3024,21 tCO₂e, para Fercal e Anápolis, respectivamente. Como presente na Tabela 4.13.

Tabela 4.13- Projeções de toneladas de carbono equivalente para 2021

Projeção 2021	
	tCO ₂ e
Cenário Atual	22578,13
Cenário Potencial Fercal	668,51
Cenário Potencial Anápolis	3024,21

5. CONCLUSÕES

Este estudo teve como finalidade, avaliar o ciclo de vida de embalagens de vidro do canal frio no Distrito Federal, para assim, conseguir visualizar uma possível viabilidade ambiental da implementação de uma indústria de reciclagem e produção de vidro para a região. Para isto foi utilizado o cálculo da pegada de carbono da etapa de transporte das embalagens de vidro entre a empresa de coleta e trituração e a indústria de reciclagem e produção.

A partir dos dados obtidos, concluiu-se que a Green Ambiental é responsável por, aproximadamente, 90% da comercialização de embalagens de vidro para reciclagem. Com isso, a sua operação foi utilizada como base para este estudo.

Os cenários, inicialmente, seriam feitos somente no Distrito Federal, pois a etapa do transporte entre as empresas seria otimizada e sua pegada de carbono minimizada. Porém, ao longo da avaliação dos cenários, percebeu-se que não havia fábricas de produção de bebidas em larga escala no Distrito Federal, diferentemente, do que ocorre no Rio de Janeiro e em São Paulo. Dado isto, foi montado um cenário na cidade de Anápolis que é sede de uma grande cervejaria.

A emissão de gases de efeito estufa é uma pauta mundialmente discutida entre governos, mas, recentemente, empresas viram a importância e o potencial do assunto, com isso, surgiu o mercado de créditos de carbono, onde empresas cobram para neutralizar o carbono gerado por outras, por diversos meios, como plantação de árvores, implementação de energias renováveis, entre outros.

Este mercado vem crescendo, e isto mostra a importância que vem se dando à emissão de GEE's por grandes empresas e indústrias. No ano de 2020, os créditos de carbono equivalem, em média, à R\$ 320,00, segundo as cotações das bolsas de valores europeias. Para fins de comparação, no cenário atual onde mais de 10000 toneladas de carbono equivalente são emitidas, para compensação via créditos seriam de, aproximadamente, R\$ 3.200.000,00 gastos.

Com as projeções de crescimento deste mercado, a emissão de carbono sobe de forma conjunta, os resultados relativos por tonelada de embalagens de vidro mostram que é possível diminuir as toneladas de carbono equivalente de forma considerável e

com impactos ambientais e, possivelmente, financeiros positivos no ciclo de vida das embalagens de vidro.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para próximos estudos relacionados a este tema:

- Avaliação das mudanças na matriz energética do Sudeste para o Centro-Oeste brasileiro;
- Avaliação da viabilidade econômica da implementação de uma indústria de reciclagem e produção de vidro;
- Avaliação de ciclo de vida de embalagens de vidro com o limite do sistema maior do que o utilizado nesse estudo;
- Estudos do impacto socioeconômico na implementação de uma indústria de reciclagem e produção de vidro no Distrito Federal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIVIDRO. Embalagens de Vidro. Disponível em: <https://abividro.org.br>. Acesso em: 20 ago. 2020.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2001). NBR ISO 14040 – Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015). NBR ISO 14064 – Gestão de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa.

ABRELPE (2019), Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019. São Paulo. 68 p.

AKERMAN, M. (2000). Natureza, Estrutura e Propriedades do Vidro, CETEV – Saint Gobain, p. 7-20.

ALVES, O.L; GIMENEZ, I.F; MAZALI, I.O (2001). Vidros. Cadernos Temáticos de Química Nova Escola. Edição especial. UNICAMP, 12 p.

AZINHEIRA, V.P.D (2014), Controlo de qualidade e ambiente ao nível de uma indústria vidreira, tese de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Portugal.

BRASIL (2010). Lei nº 12305/2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos.

CARBON TRUST (2018). *Carbon Footprint*. Disponível em: <https://www.carbontrust.com/resources/carbon-footprinting-guide>. Acesso em outubro de 2020.

CEMPRE (2012), Compromisso Empresarial para Reciclagem. Reciclagem de Embalagens. 5 p.

CEMPRE. Ficha Técnica do Vidro. Disponível em: <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/6/vidro>. Acesso em agosto de 2020.

CENTRO DE INFORMAÇÕES SOBRE O MEIO AMBIENTE. Vidro: história, composição, tipos, produção e reciclagem. Disponível em: <http://www.recicloteca.org.br/material-reciclavel/vidro/>. Acesso em agosto de 2020.

CETESB. Inventário GEE Empreendimentos. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/inventario-gee-empreendimentos/potencial-de-aquecimento-global-de-gee/>. Acesso em novembro de 2020.

COLTRO, L. (2007). Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão, CETEA, Campinas, SP, 72p.

D'AMELIO, M.T.S. (2006). Estudo de Gases de Efeito Estufa na Amazônia. Dissertação de Mestrado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear, Instituto de Pesquisas Energéticas, USP, São Paulo.

DOMINGUES, G.S.; GUARNIERI, P.; STREIT, J.A.C. (2016). Princípios e Instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos: Educação Ambiental para a Implementação da Logística Reversa, Revista em Gestão, Inovação e Sustentabilidade - Brasília, 2 (1), 191-216.

GIACOMINI, E. (2007). Material: O Vidro. Dissertação de mestrado em construção de edifícios- Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.

GREENHOUSE GAS PROTOCOL. Global Warming Potential Values. Disponível em: https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf. Acesso em maio de 2021.

GOMES, L. S.; FURTADO, A. C. R.; SOUZA, M. C. (2018), A Sílica e suas Particularidades, Revista Virtual de Química, 10(4), 1018-1038.

HU, W.; SLUSSER, W.G.; HAAN, P.; SMAY, G. (2015). “Using NNPB forming technology for refillable beer bottles”, *Glass Worldwide*. Acessado em: https://americanglassresearch.com/sites/default/files/r1gw60_agr_july_aug_2015_nnpb.pdf.

INDÚSTRIA HOJE. Como é fabricado o vidro?. Disponível em: <https://industria hoje.com.br/como-e-fabricado-o-vidro>. Acesso em setembro de 2020.

ISO - *INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION* (2011). ISO 14067 - *Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification and communication*.

JAIME, S.B.M; ORTIZ, S.A (2001). Embalagens de vidro: Inovações x Competitividade, CETEA, 13(1), 1-4.

MACHADO, P.A.L. (2012). Princípios da Política Nacional de Resíduos Sólido. Manole, PUC-SP. 820 p.

MAIELLO, A.; BRITTO, A.L.N.P.; VALLE, T.F. (2017). Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, RAP, 52(1), 24-51.

MDR (2018), Ministério do Desenvolvimento Regional. Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos. Secretaria Nacional de Saneamento. Brasília. 248 p.

MERRILD, H.; LARSEN, A. W.; CHRISTENSEN, T. H. “Assessing recycling versus incineration of key materials in municipal waste: The importance of efficient energy recovery and transport distances”. *Waste Management*, 2012.

MENDES, N.C.; BUENO, C.; OMETTO, A.R. (2015), Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos, USP, São Carlos, Brasil.

MISTAGE-HENRÍQUEZ, O.; BILOTTA, P. (2016). Panorama da contabilização de emissões de gases de efeito estufa do setor industrial brasileiro, *Sustentabilidade em Debate - Brasília*, 7(1), 74-88.

MORAN, D.D.; WACKERNAGEL, M.; KITZES, J.A.; GOLDFINGER, S.H.; BOUTAUD, A. (2008), “Measuring sustainable development – nation by nation”, *Ecological Economics*, 64, 470-474.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO. Mais empregos, mais empresas e mais verde. Disponível em: https://www.ilo.org/brasilia/noticias/WCMS_757333/lang--pt/index.htm. Acesso em agosto de 2020.

RAMOS, C. (2016). Desenvolvimento Econômico Sustentável: Tendências e Desafios na promoção dos Empregos Verdes no Brasil, *Textos e Debates*, 30, 23-38.

SEO, E.S.M.; KULAY, L.A. (2006). Avaliação do Ciclo de Vida: Ferramenta gerencial para tomada de decisão, InterfacEHS, 1(1), 1-21.

SILVA, V. A. O. (2018). Análise de alternativas para minimização de impactos no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos – estudo de caso no Distrito Federal. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 81 p

SERVIÇO DE LIMPEZA URBANA DO DISTRITO FEDERAL (2019). Relatório Anual 2019. Disponível em: <http://www.slu.df.gov.br/wp-content/uploads/2020/04/RELATORIO-ANUAL-2019.pdf>. Acesso em setembro de 2020.

TAVARES, A.O.C. (2011). Aplicações da Pegada Ecológica no Brasil: um estudo comparativo. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, 21, 55-63.

VIGON, B.W. (1993). “*Life-Cycle Assessment: Inventory Guidelines And Principles*”. EPA, Cincinnati, Ohio.