

MARIANA NASCIMENTO GIACON

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE VASILHAMES DE CERVEJA
UTILIZANDO O SOFTWARE CES EDUPACK**

São Paulo

2018

Departamento de Engenharia
Metalúrgica e de Materiais da
Escola Politécnica da USP

MARIANA NASCIMENTO GIACON

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE VASILHAMES DE CERVEJA
UTILIZANDO O SOFTWARE CES EDUPACK**

Trabalho de formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Engenheira de Materiais

Orientador: Prof. Dr. Cesar Roberto de
Farias Azevedo

São Paulo

2018

Departamento de Engenharia
Metalúrgica e de Materiais da
Escola Politécnica da USP

MARIANA NASCIMENTO GIACON

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE VASILHAMES DE CERVEJA
UTILIZANDO O SOFTWARE CES EDUPACK**

Trabalho de formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Engenheira de Materiais

Área de Concentração: Engenharia de
Materiais

Orientador: Prof. Dr. Cesar Roberto de
Farias Azevedo

São Paulo

2018

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

TF- 2018

G348a

H2018 R

2319551

DEDALUS - Acervo - EPMT



31800009344

Catálogo-na-publicação

Glacon, Mariana

Análise do Ciclo de Vida de vasilhames de Cerveja utilizando o software
Ces EduPack / M. Glacon -- São Paulo, 2018.
69 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais.

1. Análise do Ciclo de Vida 2. Vasilhames de cerveja 3. Política Nacional
de Resíduos Sólidos 4. Vidro 5. Alumínio I. Universidade de São Paulo. Escola
Politécnica. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais II. t.

8584066

Às minhas avós Lucia (in memoriam) e Tereza (in memoriam) que foram exemplos de caráter e dignidade. Dedico esse trabalho especialmente ao meu pai Mariano (in memoriam). Sua lembrança me inspira e me faz persistir.

Agradecimentos

Agradeço à Instituição Escola Politécnica da USP, que me proporcionou uma grande oportunidade de crescimento intelectual e pessoal durante os anos em que frequentei, com muitos estímulos para participar de atividades acadêmicas. Sou grata pelos laços sociais que a Instituição me possibilitou firmar com pessoas brilhantes, desde seus docentes, funcionários e alunos que acompanharam a minha jornada acadêmica de perto e deram muito apoio dentro e fora da sala de aula.

Agradeço especialmente ao Prof. Cesar, que foi o orientador mais atencioso que eu poderia imaginar, pela confiança, paciência e dedicação na orientação dada durante esse trabalho, sempre disposto a ajudar e compartilhar informações, sugestões e direcionamentos. Sou grata pelas diversas disciplinas que ele lecionou e as quais tive o privilégio de assistir durante minha graduação, em que foi apresentado o lado real da engenharia por meio da aplicação dos conhecimentos adquiridos em sala de aula nas situações cotidianas, com ênfase nos aspectos socioeconômicos envolvidos na tomada de decisão dos profissionais de engenharia.

Agradeço à minha mãe Rosângela e ao meu irmão César Mariano, pelo apoio, compreensão e paciência nos momentos de tensão. Obrigada por colocarem esperança, amor e resiliência no meu coração, alimentando minha força, meu foco e minha disciplina.

Agradeço aos amigos que estiveram ao meu lado e me motivaram a chegar nesta etapa, aguentando minhas histórias e compartilhando alegrias e tristezas.

Agradeço ao João Raphael Games Monteiro, supervisor de Meio Ambiente e Utilidades da fábrica de vidros da AMBEV no Rio de Janeiro, pela atenção na visita técnica na fábrica e clareza nos esclarecimentos que foram solicitados referente a este estudo.

Agradeço à Deus, que foi minha maior força nos momentos de angústia e desespero. Sem ele, nada disso seria possível.

"Somos do tamanho dos nossos sonhos".

(Fernando Pessoa)

RESUMO

A preocupação crescente com os resíduos sólidos urbanos tem aberto espaço para a utilização de termos como sustentabilidade, reciclagem, reuso, pegada de carbono. O Brasil tem traduzido em ações os anseios com os impactos ambientais gerados pela atividade humana. Paralelamente, a população brasileira mostra uma crescente conscientização ambiental, mas suas ações ainda não refletem esta consciência. Arelado a consciência do consumidor está a implementação de políticas ambientais compartilhadas entre setor público e o poder empresarial para gerenciamento adequado dos resíduos sólidos, por meio da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). No mercado de cervejas a utilização de latinhas de alumínio tem praticamente a mesma representatividade em termos de volume do que a utilização de vasilhames de vidro, sendo que as latas de alumínio têm um elevado índice de reciclagem enquanto as garrafas de vidro não apresentam eficiência no processo de reuso ou de reciclagem. Ferramentas que auxiliam a análise ou a predição do impacto ambiental de determinado processo ou produto sobre o meio-ambiente têm amparado a tomada de decisões, seja no eco-design de produtos ou na escolha de produtos de consumo que provoquem menor impacto ambiental. Utilizou-se a ferramenta de avaliação do ciclo de vida (ACV) do *software* educacional CES EduPack para avaliar o impacto ambiental dos diferentes tipos de vasilhames de cerveja selecionadas neste estudo: garrafas de vidro de 355 mL, garrafas de vidro de 600 mL, garrafas de vidro de 1000 mL, latinhas de alumínio de 269 mL, latinhas de alumínio de 350 mL, latinhas de alumínio de 473 mL e latinhas de alumínio de 1000 mL. Para cada um dos vasilhames foi adotado um volume base de mil litros de cerveja. Objetiva-se identificar qual vasilhame apresenta a menor pegada de carbono e divulgar estes resultados de ACV para os consumidores e produtores de cerveja, a fim de estimular conversas e ações para redução de impacto ambiental.

Palavras-chave: Análise do ciclo de vida; vasilhames de cerveja; vidro; alumínio; reciclagem; reuso; Política Nacional de Resíduos Sólidos; PNRS.

ABSTRACT

The growing concern with urban solid waste has made room for the use of terms such as sustainability, recycling, reuse, and carbon footprint. Brazil has translated into actions the yearnings with the environmental impacts generated by human activity. At the same time, the Brazilian population is showing increasing environmental awareness, but its actions still do not reflect this awareness. Linked to consumer awareness is the implementation of a public sector withdrawal initiative and corporate power to manage solid investments through the National Solid Waste Policy. In the beer market, the use of aluminum cans is practically the same in terms of volume as the use of glass containers, and aluminum cans have a high recycling rate while glass bottles are not efficient in the process reuse or recycling. Tools that help analyze or predict the environmental impact of a particular process or product on the environment have supported decision making, either in the eco-design of products or in the choice of consumer products that have a lower environmental impact. The CES EduPack educational software life cycle analysis tool (LCA) was used to evaluate the environmental impact of the different types of beer bottles selected in this study: 355 mL glass bottles, 600 mL glass bottles, bottles of 1000 mL glass, 269 mL aluminum cans, 350 mL aluminum cans, 473 mL aluminum cans and 1000 mL aluminum cans. For each of the containers was adopted a base volume of one thousand liters of beer. The aim is to identify which bottle has the lowest carbon footprint and to disseminate these results of LCA to consumers and beer producers in order to stimulate conversations and actions to reduce environmental impact.

Keywords: Life Cycle Assessments; beer packaging; glass; aluminium; recycling; reuse; National Solid Waste Policy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Nível de consciência do consumidor brasileiro pelo Teste de Consciência do Consumidor	2
Figura 2 - Produção mundial de cerveja em bilhões de litros em 2017.	5
Figura 3 - Presença regional de fábricas e centros de distribuição das indústrias do grupo CervBrasil por todo o país.	6
Figura 4 – Evolução do número de cervejarias no Brasil ao longo dos anos	7
Figura 5 - Variação anual do volume de cerveja comercializado no Brasil, em %.....	8
Figura 6 - Produção de cerveja por vasilhame no Brasil, em %.....	8
Figura 7 - Localização das principais fábricas de corpo e tampa de latinhas de alumínio no Brasil.	11
Figura 8 - Evolução da geração e da coleta de RSU no Brasil	16
Figura 9 - Disposição de RSU no Brasil por tipo de destinação.....	16
Figura 10 - Índice de recuperação dos resíduos recicláveis em áreas urbanas no Brasil	18
Figura 11 - Ciclo de vida do material: minério e insumos primários, manufatura, uso e descarte. O transporte é utilizado entre cada fase.....	20
Figura 12 - Fases de uma ACV e suas aplicações diretas.....	22
Figura 13 - Esquema simplificado de saída de dados do software com as fases material, fabricação, uso e descarte.	26
Figura 14 - Tela do software mostrando as principais entradas e seleções da fase material para o vidro.....	27
Figura 15 - Fração de reciclado mundial típica para diferentes materiais utilizada no software CES EduPack.	28
Figura 16 - Tela do software mostrando as principais entradas e seleções da fase transporte.	29
Figura 17 - Tela do software mostrando as principais entradas e seleções da fase uso e opções disponíveis para matriz de energia elétrica e de combustível.....	30

Figura 18 - Tela de inserção de dados exemplificando os dados inseridos para vasilhames de vidro. A imagem apresenta como exemplo uma garrafa de vidro de 1000 mL e final de vida reuso com 100% de eficiência.	37
Figura 19 - Tela de inserção de dados exemplificando os dados inseridos para vasilhames de alumínio.	38
Figura 20 - Gráfico da pegada de CO ₂ em kg para as diferentes disposições finais dos vasilhames de vidro.....	58
Figura 21 – Pegada de CO ₂ para diferentes materiais de vasilhames	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos vasilhames para um volume de mil litros de cerveja	32
Tabela 2 - Composição do material da garrafa de vidro – soda-lime	33
Tabela 3 – Descrição da quantidade de tampas de metal para 6 reusos das garrafas de vidro	34
Tabela 4 – Descrição da quantidade de tampas de metal para 20 reusos das garrafas de vidro	34
Tabela 5 – Composição do material da tampa da garrafa de vidro – ferro fundido cinzento	35
Tabela 6 - Composição do material da latinha de alumínio - liga de alumínio 3004 H19	35
Tabela 7 - Pegada de CO ₂ (kg de CO ₂) da garrafa de 355 mL, sendo aterro o destino final	42
Tabela 8 - Pegada de CO ₂ (kg de CO ₂) da garrafa de 355 mL, sendo reciclagem o destino final	42
Tabela 9 - Pegada de CO ₂ (kg de CO ₂) da garrafa de 355 mL, com 6 reusos	43
Tabela 10 - Pegada de CO ₂ (kg de CO ₂) da garrafa de 355 mL, com 20 reusos	43
Tabela 11 - Pegada de CO ₂ (kg de CO ₂) da garrafa de 600 mL, sendo aterro o destino final	46
Tabela 12 - Pegada de CO ₂ (kg de CO ₂) da garrafa de 600 mL, sendo reciclagem o destino final	47
Tabela 13 - Pegada de CO ₂ (kg de CO ₂) da garrafa de 600 mL, considerando 6 reusos	47
Tabela 14 - Pegada de CO ₂ (kg de CO ₂) da garrafa de 600 mL, considerando 20 reusos	47
Tabela 15 - Razão entre as fases para diferentes tipos de garrafas com matéria-prima 90% reciclada e destino final reciclagem.	49

Tabela 16 - Pegada de CO ₂ (kg de CO ₂) da garrafa de 1000 mL, sendo aterro o destino final	51
Tabela 17 - Pegada de CO ₂ (kg de CO ₂) da garrafa de 1000 mL, sendo reciclagem o destino final	52
Tabela 18 - Pegada de CO ₂ (kg de CO ₂) da garrafa de 1000 mL, considerando 6 reusos	52
Tabela 19 - Pegada de CO ₂ (kg de CO ₂) da garrafa de 1000 mL, considerando 20 reusos	52
Tabela 20 - Razão entre as fases para diferentes tipos de vasilhames de vidro com matéria-prima 90% reciclada e destino final reciclagem.	54
Tabela 21 - Pegada de CO ₂ (kg de CO ₂) dos vasilhames de latinha de alumínio, sendo reciclagem o destino final	56
Tabela 22 - Pegada de CO ₂ (em kg de CO ₂), considerando primeira vida e potencial de fim de vida das garrafas de vidro, para diferentes tipos de descarte	58
Tabela 23 - Pegada de CO ₂ total (kg de CO ₂) para latas de alumínio, sendo reciclagem a disposição final.	60
Tabela 24 – Pegada de CO ₂ (kg de CO ₂) para latas de aço e de alumínio	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIVIDRO	Associação Brasileira das Indústrias de Vidro
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRACERVA	Associação Brasileira de Cerveja Artesanal
ABRALATAS	Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ACV	Análise de Ciclo de Vida
CERVBRASIL	Associação Brasileira da Indústria da Cerveja
CNDL	Confederação Nacional de Dirigentes Lojistas
IBPT	Instituto Brasileiro de Planejamento e Tributação
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
PEV	Pontos de Entrega Voluntária
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SINDICERV	Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja
SICV BRASIL	Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida
SPC BRASIL	Serviço de Proteção ao Crédito

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Justificativa.....	1
1.2. Objetivos.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Mercado de cerveja no Brasil	4
2.1.1. Os vasilhames de vidro para cerveja: cadeia produtiva	9
2.1.2. Os vasilhames de alumínio para cerveja: cadeia produtiva	10
2.2 Política de resíduos sólidos do Brasil.....	14
2.2.1. Logística reversa de embalagens	17
2.3 Análise de ciclo de vida	20
3. METODOLOGIA.....	25
3.1 <i>Software</i> CES EduPack.....	25
3.1.1 Material	26
3.1.2 Transporte	29
3.1.3 Uso.....	29
3.1.4 Final de vida	30
3.2 ACV: Objetivo e escopo do trabalho	31
3.3 ACV: Análise de inventário	32
3.3.1 Fase material: vidro	33
3.3.2 Fase material: alumínio	35
3.3.3 Fase transporte	35
3.3.4 Fase uso.....	36
3.3.5 Final de vida	38
3.4 ACV: Avaliação de impacto	38

3.5 ACV: Interpretação	38
3.6 Visita técnica na fábrica de vidros AMBEV	39
4. RESULTADOS	41
4.1 Análise de Ciclo de Vida dos vasilhames com utilização do <i>software</i> ..	41
4.1.1 Garrafas de vidro de 355 mL	41
4.1.2 Garrafas de vidro de 600 mL	46
4.1.3 Garrafas de vidro de 1000 mL	51
4.1.4 Latinhas de alumínio	56
5. DISCUSSÃO	57
6. CONCLUSÕES.....	62
7. TRABALHOS FUTUROS	65
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

1. INTRODUÇÃO

1.1. Justificativa

Os processos de reuso e reciclagem das garrafas de vidro voltaram a ganhar destaque no Brasil nos últimos anos, aliadas à implementação de novas políticas que tratam o descarte de embalagens de uma forma mais sustentável e da mudança de perfil e de comportamento do consumidor, que está mais consciente das questões ambientais (MELO, 2016). As atividades humanas têm reflexo sobre o meio-ambiente e há um limite para a absorção deste impacto, que pode ser avaliado pela análise de ciclo de vida (ACV) de produtos. A ACV consiste em avaliar a forma que determinado produto ou material influencia o fluxo de energia e emissões de CO₂ nas diferentes fases do ciclo de vida de produtos: material, manufatura, transporte, uso, descarte e potencial de final de vida (ASHBY et al., 2012).

A prática do consumo consciente faz alusão a um consumo diferente, um consumo melhor e que considere seus impactos ambientais, possibilitando a tomada de decisões de consumo ou de projeto de produtos que minimizem estes impactos (AKATU, 2018). Uma pesquisa foi feita pela Confederação Nacional de Dirigentes Lojistas (CNDL) e pelo Serviço de Proteção ao Crédito (SPC Brasil) nas capitais do Brasil com consumidores acima de 18 anos, de ambos os sexos e de todas as classes sociais. A pesquisa revelou que 98% dos entrevistados considera importante adotar hábitos de consumo ambientalmente corretos, mas a minoria tem atitudes responsáveis no dia a dia. Aventa-se que o aspecto financeiro é o que mais influencia a adoção de práticas ambientalmente responsáveis dos consumidores (CNDL, 2018).

O Teste de Consumo Consciente realizado em 2018 pelo Instituto Akatu mostrou que o grau de consciência ambiental dos consumidores brasileiros é dividido nos seguintes perfis: indiferente, iniciante, engajado e consciente. O teste revelou ainda um crescimento do perfil “iniciante”, passando de 32% em 2012 para 38% em 2018 e o perfil “indiferente” passou de 41% para 38%. O perfil engajado recuou de 22% em 2008 para 20% em 2018 (AKATU, 2018). Os resultados do teste estão dispostos na Figura 1 e indicam que existe uma necessidade de educação e recrutamento dos consumidores indiferentes para torná-los consumidores conscientes. O grupo menos consciente (indiferente) é composto majoritariamente por jovens do sexo masculino.

Figura 1 - Nível de consciência do consumidor brasileiro pelo Teste de Consciência do Consumidor

Nível de consciência do consumidor brasileiro



Fonte: AKATU (2018)

A principal barreira para adoção de práticas mais sustentáveis é a necessidade mudanças nos hábitos familiares. A pesquisa por informações sobre os impactos sociais indica que há uma clara percepção de que os produtos sustentáveis são mais caros, sendo que essa indica ser a principal barreira para a adoção de hábitos ambientalmente corretos (AKATU, 2018). No entanto, hábitos relacionados à redução de consumo por componentes econômicos já são amplamente adotados e 91% dos consumidores avaliam previamente seus orçamentos para decidirem se é possível comprar um determinado produto. Cerca de 90% dos consumidores optam por não adquirir um novo produto quando o produto antigo ainda pode ser usado ou até mesmo consertado (CNDL, 2018).

O gatilho do preço para incentivar o consumo sustentável pode ser explorado pelas empresas do mercado de cerveja brasileiro na divulgação de seus produtos, uma vez que os produtos vendidos em vasilhames retornáveis custam até 30% menos para o consumidor (MELO, 2016). Além disso, um estudo realizado em 2018 pela *MindMiners*, uma empresa de tecnologia especializada em soluções digitais de pesquisa, em parceria com a consultoria *AT Kearney*, revelou que os consumidores brasileiros estão exigindo cada vez mais uma comunicação respeitosa e inclusiva e que a clássica publicidade já não é mais suficiente para conquistar a lealdade ou fidelizar o mercado consumidor (MINDMINERS; ATKEARNEY, 2018).

Apesar do aumento da conscientização ambiental dos consumidores, suas práticas de consumo não demonstraram esta mudança de atitude. A cadeia de reciclagem, envolvendo processos de logística reversa e seus principais agentes, como os fabricantes, distribuidores e pontos de coleta municipais, não têm funcionado em rede (IBOPE, 2018). Os consumidores, que desempenham papel importante nesse ciclo, estão mais conscientes da importância do consumo sustentável, mas suas escolhas são fortemente influenciadas pelo *marketing* dos produtores de cerveja, que poderiam fazer um maior direcionamento para o consumo consciente (MINDMINERS; ATKEARNEY, 2018). Além disso, parte dos distribuidores de cerveja não apresenta pontos de descarte de vasilhames adequado. Por outro lado, apesar da facilidade do acesso à informação, há uma passividade do consumidor quando o assunto é a busca de informações sobre formas corretas de descarte de produtos (IBOPE, 2018).

1.2 Objetivos

Diante deste cenário, este trabalho visa identificar e analisar o ciclo de vida de diferentes vasilhames de cerveja (garrafa de vidro de 355 mL, garrafa de vidro de 600 mL, garrafa de vidro de 1000 mL, latinha de alumínio de 269 mL, latinha de alumínio de 350 mL, latinha de alumínio de 463 mL, latinha de alumínio de 1000 mL) e compará-los. Serão discutidos aspectos como o comportamento dos fabricantes de vasilhames, dos distribuidores e do público alvo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Mercado de cerveja no Brasil

A cerveja é uma bebida de amplo consumo e fabricação. Estima-se que o homem começou a produzir a cerveja por volta de 8000 a.C., paralelamente aos processos de fermentação de cereais. Acredita-se que, acidentalmente, o recipiente que guardava os grãos foi esquecido aberto e ficou cheio de água da chuva, dando início ao processo de fermentação, produzindo um líquido que mais adiante na história passaria a se chamar cerveja (SINDICERV, 2018). Na antiguidade, a produção de cerveja difundiu-se entre os povos da Suméria, Babilônia e Egito, pois nessa época existiam muitas plantações de grãos para alimentar as famílias (AQUARONE et al., 2001). Registros da época comprovam a existência de uma bebida baseada em cereais, consumida na região dos Tigres e Eufrates e que era utilizada como salário e oferenda aos deuses (SINDICERV, 2018). Na época a cerveja era mais do que um produto de prazer e relaxamento, era também uma fonte de alimentação básica, assim como pão e leite (HOMINILUPULO, 2018).

A expansão do Império Romano levou a bebida à Gália, atual França, local onde adquiriu o nome latino pelo qual é conhecida hoje. Os gauleses denominavam a bebida de cevada fermentada de "*cerevisia*" ou "*cervisia*" em homenagem a Ceres, deusa da agricultura e da fertilidade (BREJAS, 2018). No século XIII, os produtores germânicos foram os primeiros a adicionar o lúpulo na cerveja, atribuindo as características básicas da bebida atual (AQUARONE et al., 2001).

A chegada da bebida no Brasil foi demorada e se deu apenas em 1808 com a vinda da família real portuguesa ao país (HOMINILUPULO, 2018). Atualmente o setor deve seguir o Decreto n. 6871 de 2009 que define que cerveja é a bebida obtida pela fermentação alcoólica de mosto oriundo de malte de cevada e água potável por ação de levedura com adição de lúpulo. Parte do malte de cevada poderá ser substituída por adjuntos (cevada, arroz, trigo, centeio, milho, aveia e sorgo, todos integrais, em flocos ou a sua parte amilácea) e por carboidratos de origem vegetal, transformados ou não.

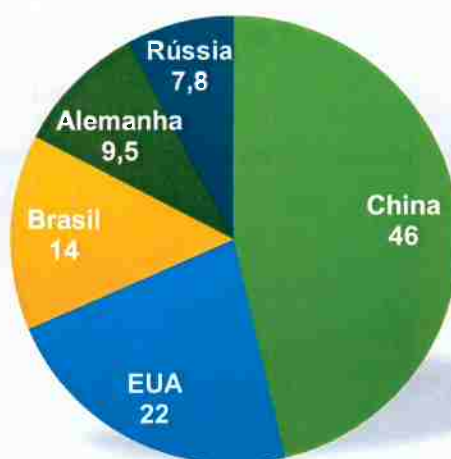
O setor cervejeiro é um dos mais tradicionais e relevantes no Brasil e está presente em todas as regiões do país em uma cadeia que vai do agronegócio ao

pequeno varejo, relacionando-se intimamente com os setores de embalagens, de transporte e energia (ABRALATAS, 2017).

A produção de cerveja no Brasil apresenta uma tendência crescente nos últimos 30 anos e em 2017 alcançou o patamar de 14 bilhões de litros, colocando o Brasil em terceiro lugar no ranking mundial, à frente de tradicionais países cervejeiros como a Alemanha e a Rússia. A cerveja é a bebida preferida por cerca de 64% dos brasileiros para comemorações, segundo dados do Ibope 2013 (MARCUSO; MULLER, 2018).

Figura 2 - Produção mundial de cerveja em bilhões de litros em 2017.

Produção Mundial de Cerveja (2017)



Fonte: MARCUSO; MULLER (2018)

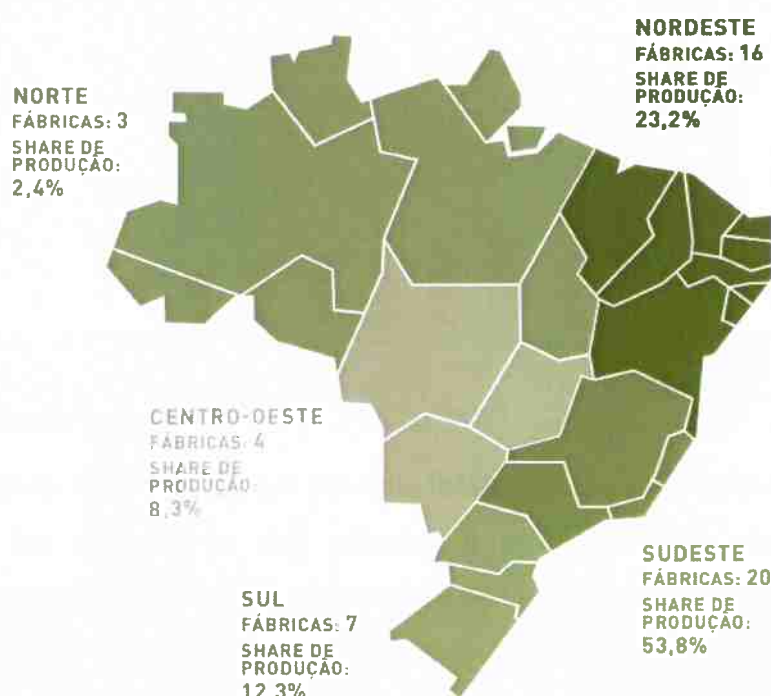
Adicionalmente, o consumo per capita de cerveja do mercado brasileiro tem um enorme potencial de crescimento. Em 2014 o país estava na 27ª posição mundial, com consumo médio de 66,9 litros por pessoa. O líder de consumo per capita de cerveja era a República Checa, com 147,1 litros por pessoa no mesmo ano (CERVBRASIL, 2015).

Existem mais de 2,2 milhões de pessoas empregadas ao longo da cadeia produtiva do setor cervejeiro, ocupando a 12ª posição de maior gerador de empregos no país, segundo o BNDES (CERVBRASIL, 2015). No campo, a produção de cevada representa cerca de 117 mil hectares de área plantada, com mais de 10 mil famílias no campo (CERVBRASIL, 2015). Sua atuação movimenta uma extensa rede que é

responsável por 1,6% do PIB do país, com faturamento de 70 bilhões de reais em 2016 (CERVBRASIL, 2016).

A Associação Brasileira da Indústria da Cerveja (CERVBRASIL) foi fundada em 2012 pelas quatro maiores fabricantes de cerveja do país na época, Ambev, Brasil Kirin, Grupo Petrópolis e Heineken, que respondem por cerca de 97% do mercado de cerveja no país. Em 2017, a Heineken adquiriu a Brasil Kirin e a participação no mercado de cada uma das empresas do setor ficou distribuído entre a Ambev (63% do mercado), a Heineken (20% do mercado) e Grupo Petrópolis (14% do mercado) (ABRALATAS, 2017). As fábricas e centros de distribuição das empresas do grupo CervBrasil estão espalhadas pelo país, em grandes cidades e próximas do mercado consumidor, gerando empregos e desenvolvimento socioeconômico (CERVBRASIL, 2016). A figura 3 apresenta a distribuição das 50 fábricas de cerveja das indústrias do grupo CervBrasil por todo o país.

Figura 3 - Presença regional de fábricas e centros de distribuição das indústrias do grupo CervBrasil por todo o país.



Fonte: CERVBRASIL (2016)

No Brasil há 610 registros de estabelecimentos produtores de cerveja, segundo dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) 2018

(MARCUSO; MULLER, 2018). Em 2017 foram concedidos 91 novos registros, um reflexo do crescimento de pequenas cervejarias, categorizadas como micro cervejarias ou artesanais. Este número representa um crescimento de 6 vezes o total de cervejarias no país em relação a 2007, conforme apresentado na figura 4. Ainda não há classificação legal aplicável que diferencie o estabelecimento micro/artesanal das demais cervejarias, portanto atualmente o MAPA não é capaz de diferenciar os dois segmentos (MARCUSO; MULLER, 2018). A Associação Brasileira de Cerveja Artesanal (Abracerva) estima que a produção artesanal responde por apenas 1% do volume total e por cerca de 2,5% da receita de vendas no país (ALVARENGA, 2018).

Figura 4 – Evolução do número de cervejarias no Brasil ao longo dos anos



Fonte: MARCUSO; MULLER (2018).

Segundo dados da Nielsen, as vendas totais de cerveja caíram 1,7% em volume em 2017 em relação ao ano anterior e o faturamento cresceu 1,6%, impulsionado pelo crescimento de 13% das vendas de cervejas *premium* e artesanais. Isso é reflexo de uma tendência de beber menos, mas melhor. As empresas têm conseguindo uma maior participação no mercado dos rótulos mais caros (ALVARENGA, 2018).

Figura 5 - Variação anual do volume de cerveja comercializado no Brasil, em %.

Variação das vendas de cerveja no Brasil

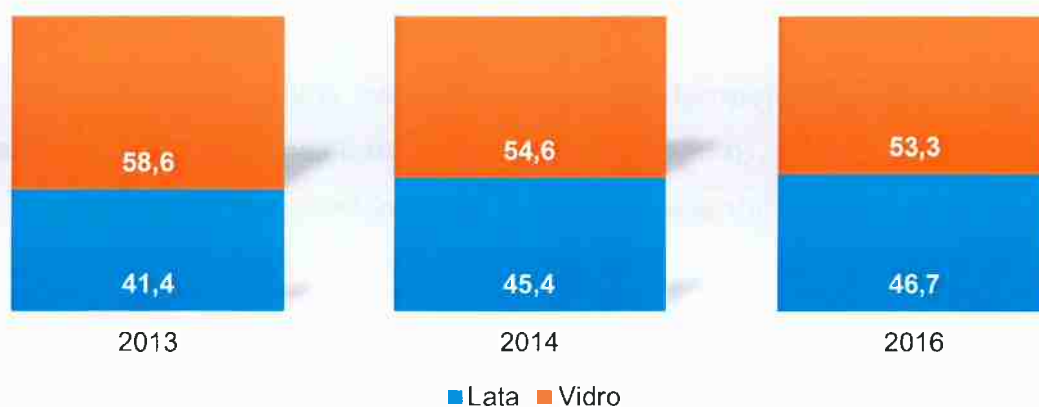


Fonte: ALVARENGA (2018)

Com relação ao tipo de vasilhame utilizado, há um crescente na utilização das latinhas de alumínio em relação as garrafas de vidro, conforme gráfico da Figura 6.

Figura 6 - Produção de cerveja por vasilhame no Brasil, em %.

Produção de cerveja por vasilhame (%)



Fonte: CERVBRASIL (2014); CERVBRASIL (2015); CERVBRASIL (2016)

2.1.1. Os vasilhames de vidro para cerveja: cadeia produtiva

A Associação Brasileira das Indústrias de Vidro (ABIVIDRO) reúne as indústrias de vidro do país nos diversos segmentos, como construção civil, embalagem, automobilístico, decoração, moveleira, perfumaria, cosmético, farmacêutico, linha doméstica, vidros técnicos e especiais. A ABIVIDRO foi fundada em 1962 e tem como objetivo promover a utilização do vidro, representar essa atividade industrial e sistematizar informações de sua cadeia produtiva (ABIVIDRO, 2018).

O Brasil produz em média 980 mil toneladas de vasilhames de vidro por ano, usando cerca de 45% de matéria-prima reciclada na forma de cacos (CEMPRE, 2016). Essa produção equivale a 2,4 bilhões de garrafas de vidro, representando 54,6% do envase de cervejas no país (CERVBRASIL, 2016). As principais fabricantes de garrafas de vidro são a Vidro Porto, Premier Pack, Verallia e a própria Ambev, que tem uma fábrica de garrafas de vidro ao lado de um centro de distribuição de bebidas no Rio de Janeiro. O polo vidreiro está concentrado em São Paulo, Rio de Janeiro, Recife e Porto Alegre.

A Vidroporto (VIDROPORTO, 2018) apresenta as várias vantagens do vidro na utilização como vasilhame para cerveja:

- **Transparência:** a garrafa de vidro possibilita a visualização do seu conteúdo, agregando confiabilidade ao produto;
- **Inerte:** não há reação química entre o alimento e a garrafa de vidro, isto é, não há interferência no sabor das cervejas, pois a garrafa de vidro preserva as substâncias contidas em seu recipiente, atendendo à exigência dos consumidores cada vez mais preocupados com a qualidade dos itens levados à mesa;
- **Resistência:** aspectos como mudanças de temperatura, cargas verticais e umidade não são problemas para os vasilhames de vidro;
- **Dureza:** após sua conformação o vidro apresenta um alto grau de dureza, oferecendo proteção relacionada à dificuldade de deformação do vasilhame, embora eles sejam frágeis;
- **“Nobreza”:** oferece ao consumidor a percepção de que o produto consumido do interior de uma garrafa de vidro tem mais valor;
- **100% reciclável e sustentável:** o vidro é 100% reciclável e infinitas vezes, sem perder sua propriedade ou qualidade durante o processo de fusão.

Por outro lado, os vasilhames de vidro demoram mais para gelar a bebida, pois tem menor condutibilidade térmica, são mais caras e mais pesadas em relação a outros tipos de vasilhames, como a lata de alumínio.

As ações de reciclagem de vidro no Brasil começaram em 1986. Em 2011, cerca de 47% dos vasilhames de vidro foram recicladas no Brasil, somando quase 470 mil toneladas anuais. Para efeitos de comparação, na Alemanha o índice de reciclagem em 2010 foi de 87%, correspondendo a 2,6 milhões de toneladas (CEMPRE, 2016).

As práticas de reciclagem proporcionam uma redução do descarte de resíduos sólidos, gerando economia de energia e a consequente redução de gases de efeito estufa. A utilização de 10% de cacos de vidro na fabricação do vasilhame resulta num ganho energético de 4% e numa redução de 5% nas emissões de CO₂. (CERVBRASIL, 2016). O caco de vidro funde a uma temperatura entre 1000°C e 1200°C, que é mais baixa do que a temperatura de fusão da fabricação do vidro a partir dos minérios, que ocorre entre 1500°C e 1600°C. Desta forma, menos energia é necessária no processo e, consequentemente, há menos emissão de CO₂ (RECICLOTECA, 2018).

O processo de reciclagem exige a separação dos contaminantes do vidro como plásticos, além da remoção de tampas e rótulos, e só depois disso o caco é estocado e misturado à matéria-prima pouco antes de entrar no Forno de Fusão (VIDROPORTO, 2018). Esses cuidados com a reciclagem acabam dificultando o processo de reciclagem do vidro. Outro grande obstáculo para a reciclagem desse resíduo é seu baixo valor comercial: o alumínio custa em média R\$ 2.500,00 por tonelada de sucata, a tonelada de PET R\$1.000,00 e a tonelada do caco de vidro R\$ 70,00 (CEMPRE, 2016).

2.1.2. Os vasilhames de alumínio para cerveja: cadeia produtiva

A Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio (ABRALATAS) surgiu em 2003 com a finalidade de representar os interesses dos fabricantes brasileiros de latas de alumínio para bebidas (CERVBRASIL, 2016).

No Brasil são 18 fábricas do corpo da latinha e 5 fábricas de tampas. As principais empresas são Ardagh Group, Ball, CanPack e Crown (ABRALATAS, 2018). A distribuição geográfica e as empresas produtoras estão apresentadas na Figura 7. É possível observar uma proximidade com as principais fábricas de cerveja (Figura 3) o que facilita a logística deste segmento.

Figura 7 - Localização das principais fábricas de corpo e tampa de latinhas de alumínio no Brasil.



Fonte: ABRALATAS (2018)

Em 2016 as latas de alumínio representaram 23,8% do consumo de alumínio no país, cerca de 286 mil toneladas (ABRALATAS, 2016). Segundo a ABRALATAS (ABRALATAS, 2018) são várias as vantagens da utilização latas de alumínio como vasilhames de cervejas:

- A cerveja em envasada no alumínio gela mais rápido: quando colocada em contato direto com o gelo, o vasilhame e a bebida ficam gelados 37 minutos mais rápido quando comparada com a bebida em garrafa de vidro descartável;
- Economia de espaço: bebidas em latas de alumínio reduzem os custos de estocagem em 17% em relação as garrafas de vidro, sendo que seis latinhas (2,1 litros) ocupam o mesmo espaço que três garrafas de 600 mL (1,8 litros);

- Facilitam o transporte: por ocupar menos espaço, o transporte de latas de alumínio carrega maior volume de bebidas em comparação com os vasilhames de vidro;
- O empilhamento das latas de alumínio também é facilitado e eventuais acidentes durante o manuseio não geram transtornos significativos, pois as latas não se fragmentam ao cair, diferentemente do que acontece com o vidro;
- As latas de alumínio são 100% recicláveis e lideram o ranking nacional de reciclagem de vasilhames. O alumínio pode ser reciclado infinitas vezes sem perder as propriedades. Um fator que ajuda no índice de reciclagem é o preço do quilo da sucata de alumínio: o quilo do alumínio vale 33 vezes mais que o quilo do vidro e 3 vezes o preço da sucata de PET;
- Rótulo personalizado: a possibilidade de utilizar 100% da superfície da lata de alumínio é um diferencial de comunicação com o consumidor final. A impressão do rótulo pode ser feita diretamente no alumínio, evitando que descole da lata ou rasgue.

A reciclagem de latas de alumínio no Brasil funciona com altíssimos indicadores de eficácia, com o índice de reciclagem de 97,7%, acima da média mundial de 69%. O índice que representa a relação entre sucata recuperada e consumo doméstico de alumínio no Brasil em 2015 era de 46%, a quarta posição no ranking mundial. A Inglaterra liderava o ranking com 52,9% de recuperação do alumínio (ABAL, 2016; ABRALATAS, 2017). A Latasa Reciclagem é a líder no mercado brasileiro de reciclagem de alumínio e processa mais de 200 mil toneladas do material utilizando os 25 centros de coleta e as 4 plantas de fundição. O mercado de reciclagem está estabelecido em todas as regiões do país e essa distribuição é impulsionada por características como a facilidade na coleta, alto valor da sucata de alumínio e a grande disponibilidade de sucata durante todo o ano, fatores que estimulam a reciclagem das latas de alumínio para bebidas. Em aproximadamente 60 dias, uma latinha de alumínio para bebidas pode ser comprada, utilizada, coletada, reciclada, envasada e voltar às prateleiras para o consumo (LATASA, 2018).

Os benefícios da reciclagem são principalmente ambientais e tem reflexos positivos na sociedade e na economia. O processo de reciclagem utiliza apenas 5% da energia elétrica e libera somente 5% das emissões de gás de efeito estufa quando

comparado com a produção de alumínio primário, segundo dados do International Aluminium Institute (ABRALATAS, 2009).

A Abralatas é um ator importante no debate por uma economia de baixo carbono marcada pela sustentabilidade. A empresa procura estimular a reciclagem da latinha de alumínio e debater o impacto ambiental da sua produção e consumo. Além disso, também defende uma política tributária que estimule a produção e o consumo de bens e serviços de menor impacto ambiental, conhecida como tributação verde (CERVBRASIL, 2016).

A Tributação Verde é uma bandeira que está alinhada às exigências da sociedade, uma proposta que beneficia processos e materiais e que minimiza os danos ao meio ambiente. O presidente executivo da Abralatas, Renault Castro, disse que é necessário incluir no sistema tributário uma forma de compensar a sociedade pelos danos ambientais causados pela indústria. Dessa forma será possível avaliar os efeitos que as escolhas de consumo exercem sobre o meio ambiente (CERVBRASIL, 2016). Segundo o Instituto Brasileiro de Planejamento e Tributação (IBPT) 55,6% do valor de uma lata ou garrafa de cerveja é referente a tributo (IBPT, 2017) totalizando 21 bilhões de reais de impostos por ano (CERVBRASIL, 2016).

Para aumentar a competitividade do vasilhame, os fabricantes de latas de alumínio adotaram outras estratégias como a descentralização da produção, viabilizando sua distribuição para os produtores de todas as regiões do país, e a produção de latas em diferentes formatos, tamanhos e que permitam técnicas inovadoras de impressão. Essas ações em pouco mais de 5 anos refletiram um aumento de 10 pontos percentuais na participação no mercado nacional de cerveja, sendo que a latinha de alumínio envasa por volta da metade da produção dessa bebida (CERVBRASIL, 2016).

2.2 Política de resíduos sólidos do Brasil

O início da vida em comunidade e o consequente abandono da vida nômade dos seres humanos desencadeou um aumento da geração de resíduos. Ao longo dos séculos as cidades se desenvolveram, mas a preocupação com os resíduos sólidos começou apenas quando estes se tornaram um problema sanitário, representando perigo à sociedade. Foi após a Revolução Industrial que os resíduos sólidos começaram a ter um certo peso ambiental (JACOBI; BESEN, 2011; DEUS; BATTISTELLE; SILVA, 2015).

O tema ganhou destaque global assumindo importância em países ricos e pobres a partir da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, conhecida como Rio 92. Foi a partir dessa agenda de discussões ambientais que uma série de ações foram desencadeadas, apoiadas em uma pressão na gestão de resíduos de forma sustentável direcionado à atuação dos governos, da sociedade e da indústria. As prioridades estabelecidas englobam a redução de resíduos nas fontes geradoras, a redução da disposição final no solo, a intensificação no reaproveitamento dos recursos, da coleta seletiva e da reciclagem auxiliada pela inclusão de catadores e participação da sociedade, a compostagem e a recuperação energética (JACOBI; BESEN, 2011).

As políticas públicas para tratar da gestão e da disposição inadequada dos resíduos sólidos que causam impactos socioambientais têm sido cada vez mais demandadas pela sociedade, reflexo da crescente preocupação com a preservação dos recursos naturais e com a questão de saúde pública. Se manejados adequadamente, os resíduos sólidos adquirem valor comercial e podem ser utilizados em forma de matérias-primas ou insumos (PNRS, 2010).

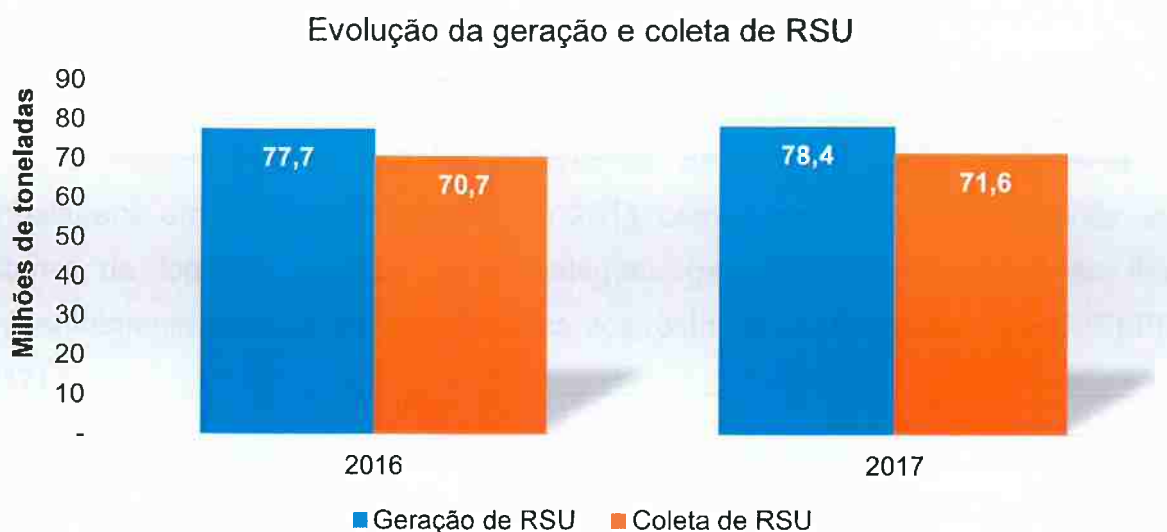
Após quase vinte anos de discussões no Congresso Nacional foi regulamentada em dezembro de 2010 a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que qualificou e deu novos rumos à discussão sobre o tema reunindo o conjunto de diretrizes e ações a ser adotado com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento adequado dos resíduos sólidos (JACOBI; BESEN, 2011). A Política Nacional dos Resíduos Sólidos fortalece os princípios da gestão integrada e do gerenciamento sustentável de resíduos, atribuindo responsabilidades e acordos setoriais a serem firmados entre o poder público e o setor empresarial. Essa

cooperação técnica e financeira amplia a capacidade de gestão das administrações municipais por meio de ganhos de escala e redução de custos no caso de compartilhamento de sistemas de coleta. Ela também aumenta as metas de reciclagem e gera postos de trabalho nessa cadeia produtiva, viabilizando a logística reversa e a implantação e universalização da coleta seletiva nos municípios brasileiros (PNRS, 2010).

Os planos de resíduos sólidos abrangem o ciclo que se inicia desde a geração do resíduo até a disposição final adequada dos rejeitos, englobando a responsabilização do setor público, do consumidor e do setor privado (JACOBI; BESEN, 2011). Essa responsabilidade compartilhada visa a adoção de soluções que minimizem ou ponham fim aos efeitos negativos em termos de saúde pública e o meio ambiente em cada fase do ciclo de vida dos produtos. O plano também estimula o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e de renda (SINIR, 2017).

A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) representa as empresas que atuam nos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos no Brasil e é responsável por reportar a evolução da geração e coleta de resíduos sólidos urbanos (RSU) conforme dados apresentados na figura 8. O manejo dos resíduos revelou um total anual de 78 milhões de toneladas no país em 2017, com aumento de cerca de 1% em relação a 2016. O montante coletado em 2017 foi de 71,6 milhões de toneladas, registrando um índice de cobertura de coleta de 91%, ou seja, cerca de 6,5 milhões de toneladas de resíduos não foram objeto de coleta e, conseqüentemente, tiveram destino impróprio (ABRELPE, 2017).

Figura 8 - Evolução da geração e da coleta de RSU no Brasil



Fonte: ABRELPE (2017)

No entanto, a disposição desses itens coletados não registrou avanços em relação ao cenário do ano anterior, mantendo praticamente o mesmo percentual, conforme figura 9.

Figura 9 - Disposição de RSU no Brasil por tipo de destinação.



Fonte: ABRELPE (2017)

Cerca de 40,9% dos resíduos coletados, equivalente a 29 milhões de toneladas, foram despejados em locais inadequados. A geração de empregos diretos no setor de limpeza pública manteve-se estável, com ligeira variação de 0,3% em relação ao ano anterior e atingiu cerca de 337 mil postos de trabalho formal no setor.

O mercado de limpeza urbana movimentou recursos correspondentes a R\$ 28,5 bilhões no país, com variação positiva em todas as regiões (ABRELPE, 2017).

2.2.1. Logística reversa de embalagens

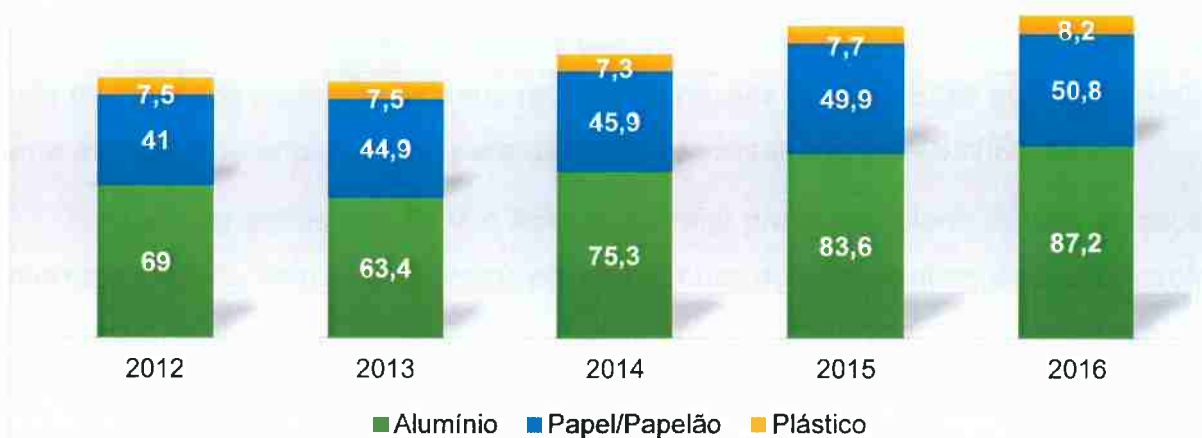
O Acordo Setorial para Implantação do Sistema de Logística Reversa de Embalagens em Geral foi assinado em 2015 com o objetivo de implementar um sistema de logística reversa de embalagens garantindo uma destinação final ambientalmente adequada da fração seca dos resíduos sólidos urbanos (ABRELPE, 2017).

O conjunto das empresas relacionadas no acordo, entre elas a ABRALATAS e o Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja (SINDICERV), realizou e contabilizou ações de destinação ambientalmente adequada na primeira fase, entre 2012 e 2015, mesmo antes da assinatura do Acordo Setorial. Isso porque tais empresas já haviam iniciado a implementação e o incentivo desse tipo de ação. Algumas medidas a serem adotadas envolviam a compra de produtos ou embalagens usadas, a disponibilização de postos de entrega voluntária e a atuação em parceria com Cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis (SINIR, 2017).

Os resultados da primeira fase do acordo previam a recuperação de 26,2% das embalagens de alumínio, aço, papel/papelão, plástico e vidro. Essa meta foi reduzida para 24,8%, pois as empresas de embalagens de vidro e aço deixaram de integrar a fase 1 (ABRELPE, 2017). A reciclagem de alumínio e de papel/papelão conseguiram atingir a meta e o índice de recuperação desses resíduos têm aumentado a cada ano, conforme Figura 10. O índice é equivalente ao total de resíduos recicláveis recuperados dividido pelo total de resíduos recicláveis gerados.

Figura 10 - Índice de recuperação dos resíduos recicláveis em áreas urbanas no Brasil

Índice de recuperação dos resíduos recicláveis em áreas urbanas



Fonte: ABRELPE (2017)

Para operacionalizar o Sistema de Logística Reversa das embalagens são adotadas ações, investimentos, suporte técnico e institucional para a gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos, assim como investimento para aumentar a capacidade das cooperativas e associações de catadores nos municípios prioritários e ações de conscientização dos consumidores sobre a separação e descarte adequados (SINIR, 2017) (PNRS, 2010).

A coleta seletiva é a coleta diferenciada de resíduos que foram previamente separados segundo a sua composição. A PNRS estabelece que a implantação da coleta seletiva é obrigação dos municípios e as metas referentes à coleta seletiva fazem parte do conteúdo mínimo que deve constar nos planos de gestão integrada de resíduos sólidos dos municípios. A coleta seletiva é uma obrigação do poder público e a logística reversa é uma obrigação principalmente do setor empresarial (PNRS, 2010). As empresas trabalham com ações diretas no Sistema de Logística Reversa e no desenvolvimento de novas tecnologias e de soluções técnicas para promover e facilitar a reciclagem de embalagens, reduzindo a quantidade de matéria-prima utilizada. O sistema precisa ser capaz de receber os materiais recicláveis gerados após o consumo e ter estruturas para transformar os recursos naturais recuperados em novos produtos (SINIR, 2017; ABRELPE, 2017).

Para realização da coleta seletiva os fabricantes e importadores de produtos de embalagens, os distribuidores e comerciantes fazem cessão de espaços e realizam

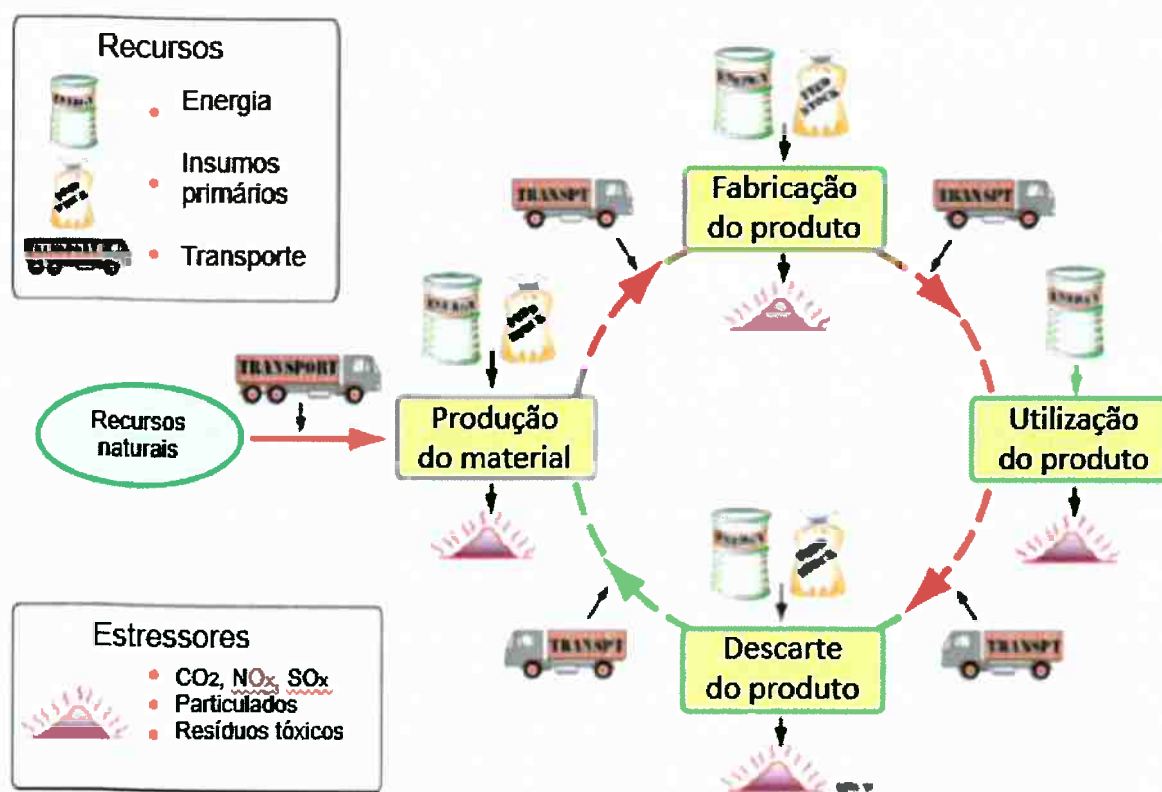
investimentos para instalação dos Pontos de Entrega Voluntária (PEV). Caçambas, contêineres ou um conjunto de lixeiras que indicam os diferentes tipos de materiais a serem recebidos são instalados em locais com grande fluxo de pessoas (escolas, supermercados, condomínio, praças) e complementam o sistema de coleta seletiva, pois os cidadãos podem levar seus recicláveis nesses pontos. Essa ação representa uma atividade de engajamento para as comunidades atendidas (SINIR, 2017).

Aliado às ações dos PEV o Acordo Setorial prevê um plano de comunicação interna e externa, com investimentos em campanhas de conscientização e informação dos consumidores, divulgação de instruções sobre como separar as embalagens e onde efetuar seu descarte e incentivos de mudança de hábito. O plano contempla as diferentes mídias digitais, de massa, eventos, cartilhas entre outros com o objetivo de sensibilizar e conscientizar o consumidor (SINIR, 2017).

2.3 Análise de ciclo de vida

O impacto ambiental provocado por um produto pode ser avaliado pela análise de seu ciclo de vida. Essa análise quantifica a interação de sistemas industriais ou de serviço detalhando o impacto ecológico gerado por cada fase da vida de um produto com base no seu histórico através das entradas (insumos primários, energia) que são consumidas em cada fase e das saídas, os estressores (emissões, rejeitos, calor). A Figura 11 representa o ciclo de vida genérico de um material (ASHBY et al, 2012).

Figura 11 - Ciclo de vida do material: minério e insumos primários, manufatura, uso e descarte. O transporte é utilizado entre cada fase.



Fonte: ASHBY et al. (2012).

O desempenho ambiental de produtos e processos se tornou uma questão chave e algumas empresas têm investigado métodos para reduzir o dano provocado ao meio-ambiente por meio de sistemas de gerenciamento de impacto ambiental. A ACV prevê uma interdependência entre cada fase da vida de um produto e possibilita a comparação e escolha de materiais, produtos e processos que resultem no menor impacto (CURRAN, 2006).

No Brasil a história da análise de ciclo de vida começou oficialmente em 1993, com a formação de um subcomitê dedicado especificamente ao tema e com o lançamento da publicação especializada “Análise de Ciclo de Vida de Produtos: Ferramenta Gerencial da ISO 14000” de autoria José Ribamar Chehebe, 1997. Em 1998 o Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental, conhecido como CB-38, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) passou a gerir os assuntos deste tema e estava dedicado à formulação das normas da série ISO 14000, tendo lançado 4 normas que regem essa análise (SEO; KULAY, 2006):

- NBR ISO 14040: Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura (1997)
- NBR ISO 14041: Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Definição de Objetivo e Escopo e Análise de Inventário (1998)
- NBR ISO 14042: Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (2000)
- NBR ISO 14043: Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Interpretação do Ciclo de Vida (2000)

A ACV é conhecida como uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto. O ciclo de vida é composto por estágios sucessivos e encadeados de um sistema de produto, desde a aquisição da matéria-prima ou geração de recursos naturais à disposição final (SEO; KULAY, 2006)

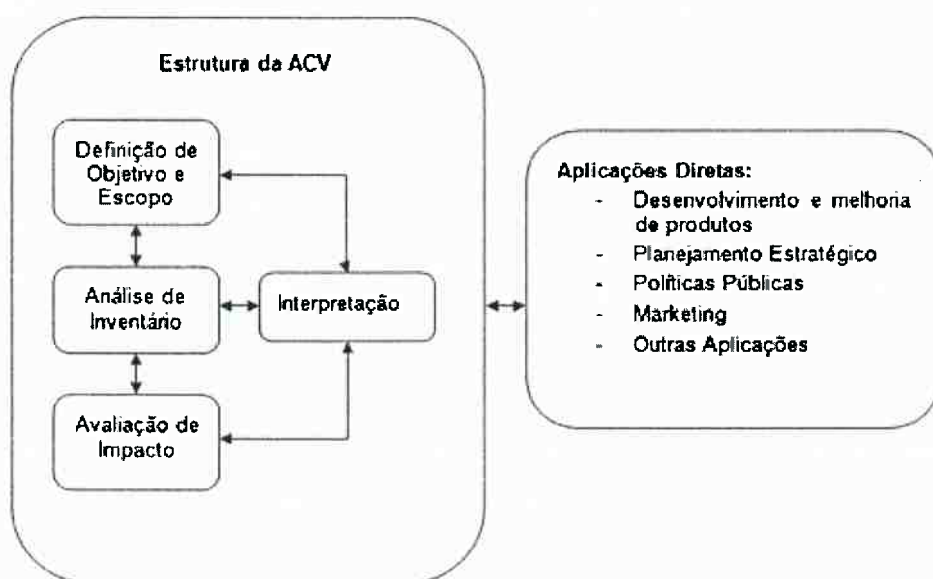
Ainda segundo a NBR ISO 14040, a ACV é uma ferramenta que pode auxiliar:

- Na identificação de oportunidades para melhorar os aspectos ambientais dos produtos em vários pontos de seu ciclo de vida;
- Na tomada de decisões na indústria, organizações governamentais ou não-governamentais (por exemplo, planejamento estratégico, definição de prioridades, projeto ou reprojeto de produtos ou processos);
- Na seleção de indicadores pertinentes de desempenho ambiental, incluindo técnicas de medição; e
- No marketing (por exemplo, uma declaração ambiental, um programa de rotulagem ecológica ou uma declaração ambiental de produto).

Os objetivos da ACV vão além de avaliar o impacto sobre o meio ambiente, incluem desde análises de planejamento estratégico do processo até a imagem que

uma empresa tem em relação aos seus consumidores. Neste trabalho especificamente, o objetivo pretendido com a utilização desta técnica foi minimizar o impacto ambiental, comparando diferentes tipos de materiais para vasilhames de cerveja e comparando a consciência ao comportamento do consumidor com pesquisas feitas por institutos renomados. A ACV deve incluir uma clara definição de seu objetivo e de seu escopo, assim como a análise de inventário, a avaliação de impactos e a interpretação de resultados, conforme ilustrado na Figura 12.

Figura 12 - Fases de uma ACV e suas aplicações diretas.



Fonte: GUINEE (2004). Traduzido.

A fase de **definição do objetivo e escopo** define a proposta e o meio de incluir os impactos ambientais nas decisões estratégicas do processo e é normatizada pela NBR ISO 14041 (CURRAN, 2006). O produto é descrito de acordo com sua função e o objetivo do estudo é definido de acordo com a aplicação. O escopo estabelece as questões temporais, geográficas e tecnológicas e o nível de detalhamento relacionado ao objetivo (GUINEE, 2004). Essas definições devem ser consistentes com a aplicação pretendida e definidas de forma clara, guiando as decisões para que se faça um uso efetivo de tempo e recursos (NBR ISO 14040, 2001).

A **análise de inventário** consiste na quantificação e organização dos dados de entrada e saída que serão consideradas de acordo com o objetivo e o escopo do estudo e é normatizada pela NBR ISO 14041. As entradas e saídas são relacionadas para assegurar que se tenha uma base comum para as comparações de desempenho

e avaliação de impacto. Sem esses dados nenhuma comparação relativa ao impacto ambiental poderia ser feita. Como a ACV é uma técnica iterativa alguns ajustes podem ser necessários, com a inclusão de novas informações (NBR ISO 14040, 2001; GUINEE, 2004).

Os dados gerados na fase de inventário podem ser compilados, gerando um banco de dados eletrônico, e para que possam ser utilizados em comparações de forma consistente é necessário a definição de um formato padrão. A qualidade dos dados é o fator que tem a maior influência na análise (GUINEE, 2004). Algumas empresas desenvolveram essa base específica para análise de ciclo de vida que contém as informações mínimas para a construção do inventário. O Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida (SICV Brasil) é um sistema que gerencia as bases de dados, visando um conjunto consolidado brasileiro. Algumas dessas bases são vendidas com *softwares* (IBICT, 2018).

A **avaliação de impacto** é a fase de processamento e interpretação dos dados tabelados no inventário e é normatizada pela NBR ISO 14042. Os dados são convertidos em impactos ambientais por fatores de equivalência possibilitando a obtenção de unidades comuns, por exemplo kg de CO₂ equivalentes para a categoria de aquecimento global. Algumas categorias são acidificação, substâncias tóxicas terrestres, mudanças climáticas, perda de biodiversidade, calor, barulho, radiação (GUINEE, 2004; IBICT, 2018).

A **interpretação** é a etapa de conclusão e validação dos resultados das etapas anteriores e é normatizada pela NBR ISO 14043. Os resultados devem ser avaliados criticamente, as limitações apontadas e as recomendações propostas. Esta fase deve prover uma apresentação consistente dos resultados de estudo e estar de acordo com o objetivo e o escopo do estudo (CURRAN, 2006).

Os resultados da ACV devem ser apresentados em formato de relatório, serem transparentes e conter detalhes o suficiente para que o público-alvo possa interpretar os resultados de um modo consistente com os objetivos do estudo (IBICT, 2018).

A ACV é uma ferramenta que está em evolução. Os estudos que a utilizam consomem muito tempo e recursos financeiros e a coleta de dados pode ser difícil e imprecisa. Além disso, apesar de toda orientação normativa há um certo grau de

subjetividade na análise que depende dos especialistas responsáveis pelo estudo (SEO; KULAY, 2006; IBICT, 2018).

3. METODOLOGIA

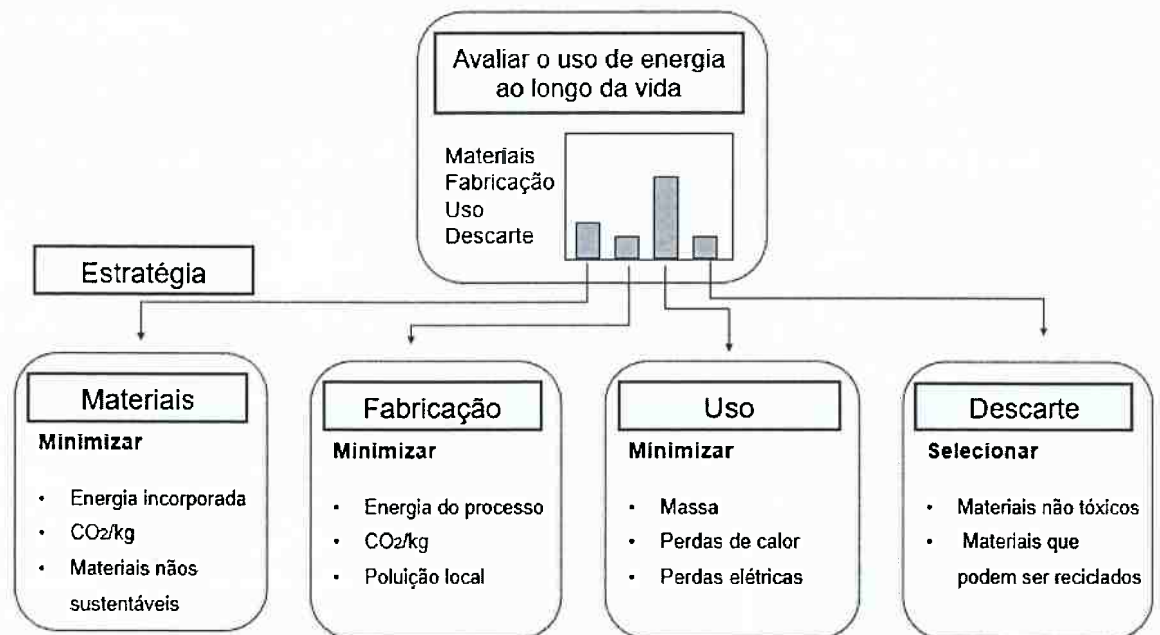
O objeto de estudo deste trabalho são os vasilhames de cerveja. Para analisá-los foi utilizado o procedimento de análise de ciclo de vida (Eco Audit Tool) do *software* educacional CES EduPack 2016 da Granta Design, que permite uma análise rápida e simplificada de dois indicadores principais: gasto energético e pegada de CO₂. As entradas deste programa são os diferentes materiais e massas dos vasilhames de cerveja bem como suas diferentes destinações. Para complementar e suportar o levantamento de dados foi feita uma visita à fábrica de vidros de uma das principais fabricantes de cerveja do Brasil, a Ambev.

3.1 *Software* CES EduPack

O CES EduPack é um *software* educacional utilizado principalmente por estudantes universitários nas disciplinas relacionadas a seleção e avaliação de desempenho de materiais, como engenharias mecânica, de materiais, aeroespaciais entre outras. Sua utilização possibilita o estudo de casos industriais reais por meio da base de dados, de uma forma interativa e visual, e que encoraja o conhecimento interdisciplinar. O *software* foi desenvolvido pelo Professor Mike Ashby do departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Cambridge em conjunto com outros professores (GRANTA, 2018).

O *software* contém uma base de dados completa dos materiais de engenharia e possui uma ferramenta de auditoria ambiental (Eco Audit Tool), com muitas simplificações na estrutura de inserção de dados. O usuário escolhe a matéria-prima, o processo de fabricação primário, a massa e quantidade do componente, o tipo de descarte, tipo e distância de transporte e a matriz energética da fase uso. De acordo com as informações inseridas os dados são processados e dois indicadores são devolvidos: uma estimativa do gasto energético e da pegada de carbono. A ferramenta permite que o usuário identifique de forma racional qual fase é predominante em relação ao impacto ambiental provocado e a partir disso ideias relacionadas ao eco design podem ser exploradas, avaliando-se a variação de impacto caso um componente fosse feito de um material diferente. Uma sugestão da avaliação de um produto é apresentada na Figura 13 (ASHBY et al., 2012; GRANTA, 2018).

Figura 13 - Esquema simplificado de saída de dados do software com as fases material, fabricação, uso e descarte.



Fonte: ASHBY; CEBON; SHERCLIFF (2007).

A ferramenta pode ser aberta selecionando "Eco Audit" no canto superior da tela do *software* e o passo a passo para sua utilização será apresentado a seguir.

3.1.1 Material

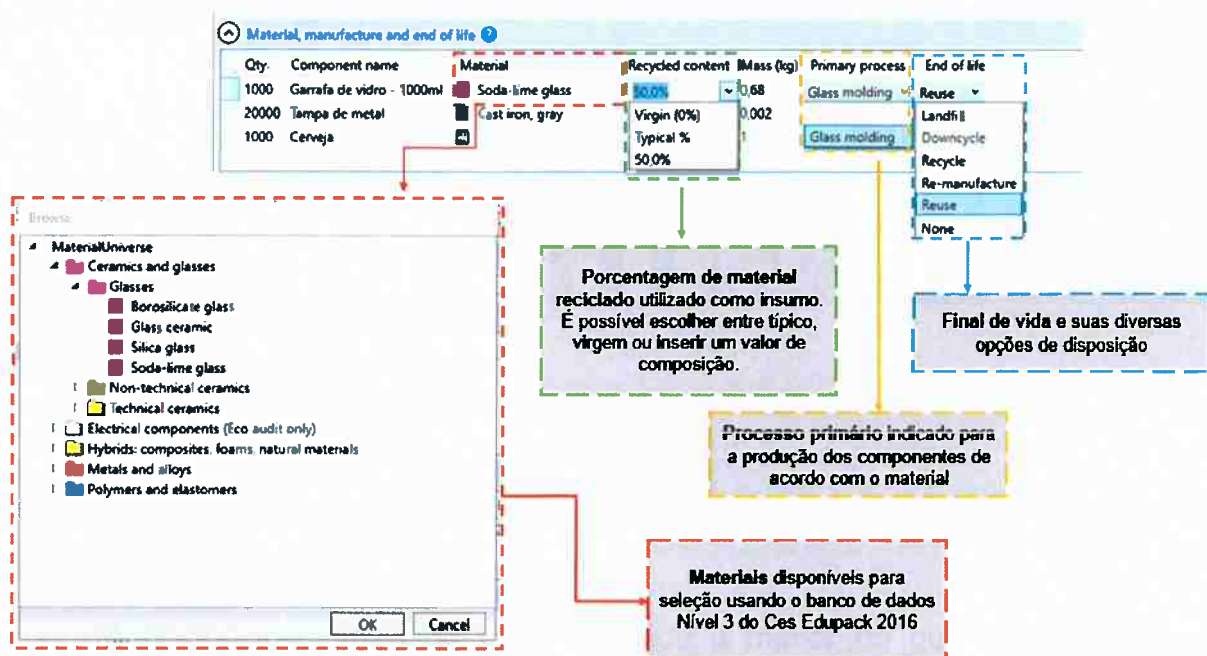
Este grupo permite a inserção dos seguintes dados para cada um dos componentes:

- Quantidade;
- Nome;
- Material: selecionado de um catálogo da base de dados que está disposto na forma de um diagrama em árvore;
- Porcentagem de material reciclado: o *software* possui um banco de dados com valor típicos de reciclagem (uma média mundial), material virgem (toda a massa do material vem dos recursos naturais) e é possível inserir a fração de reciclagem desejada;
- Massa (kg);

- Processo primário: selecionado por uma lista suspensa com opções relevantes de fabricação para cada material;
- Descarte: selecionado por uma lista suspensa com opções relevantes de acordo com o tipo de material.

Para uma análise simples de ciclo de vida não é necessário imputar todos os componentes, mas aqueles relativos a, pelo menos, 95% da massa do produto (ASHBY et al., 2012).

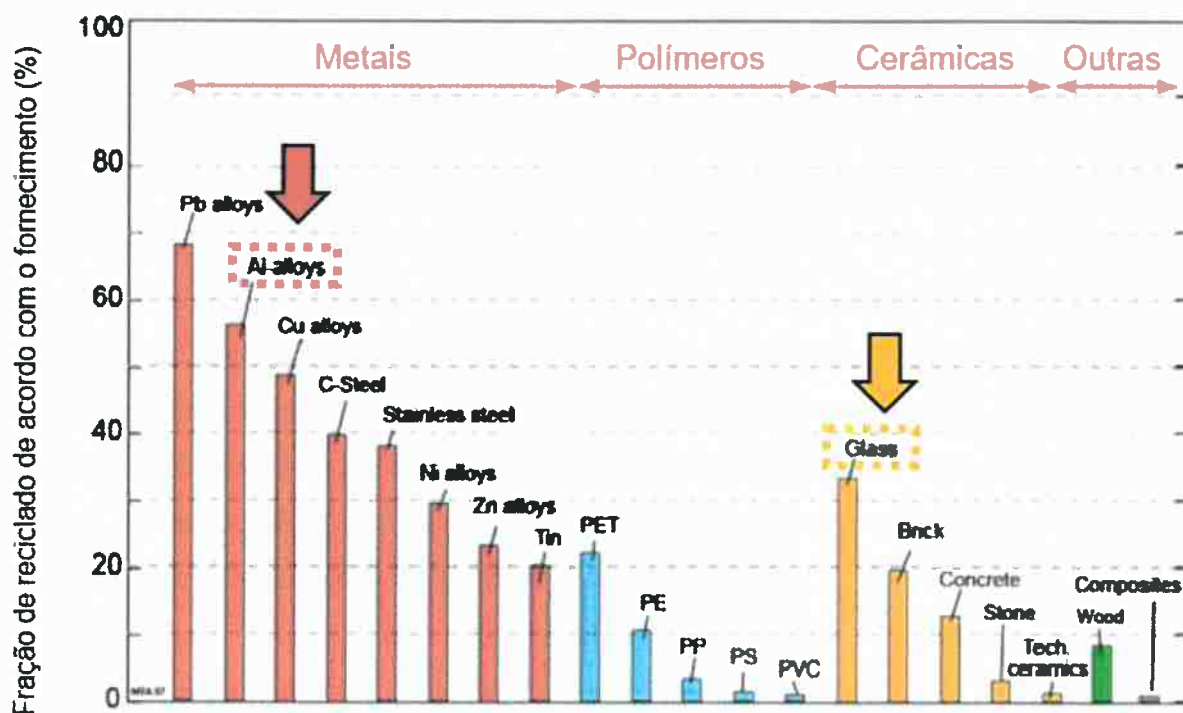
Figura 14 - Tela do software mostrando as principais entradas e seleções da fase material para o vidro.



Fonte: o autor

Para cada material escolhido é possível selecionar o percentual de material reciclado, de acordo com a Figura 14. No Brasil não há um teor estipulado de material reciclado que deve compor a produção de determinado produto, mas algumas indústrias fornecem esses valores e estipulam metas para utilização de material reciclado (ABAL, 2018). O *software* utiliza alguns valores de fração de reciclado típicos, de acordo com a Figura 15.

Figura 15 - Fração de reciclado mundial típica para diferentes materiais utilizada no software CES EduPack.



Fonte: Ces EduPack (2016).

A composição típica de alumínio reciclado é por volta de 50% e foi o valor adotado para este estudo.

A composição típica de vidro reciclado é menor do que 30%. Porém, as informações colhidas da visita técnica realizada na fábrica de vidros da Ambev, assim como as informações do site da empresa, revelaram que os fornos de produção de garrafas de vidro utilizam um teor de pelo menos 60% (AMBEV, 2018). Assim, um percentual maior do que o típico foi adotado como dado de entrada no software. As composições de vidro reciclado para produção de novas garrafas neste estudo foram: 0%, 50% e 90%.

Os valores de pegada de carbono de cada matéria-prima considerados no processo de manufatura do material não são exatos, pois pode haver uma variação na matriz energética da fábrica. Contudo, esses valores são representativos, pois consideram faixas de valores obtidas através de referências em literatura.

3.1.2 Transporte

A aba transporte permite a inserção de dados referente ao deslocamento do produto manufaturado até o ponto de venda. É possível selecionar o transporte por diferentes modalidades e inserir a distância para cada uma delas. Para isso basta nomear a etapa do transporte e selecionar a modalidade a partir de uma lista suspensa que contém nove opções: frete marítimo, frete fluvial, frete ferroviário, rodoviário com caminhão de 32 toneladas, rodoviário com caminhão de 14 toneladas, veículos urbanos, frete aéreo de longa distância, frete aéreo de curta distância ou helicóptero. O *software* se limita a utilizar o mesmo tipo de transporte para todos os componentes, não sendo possível especificar o transporte de cada um. Além disso não é possível escolher o tipo de combustível utilizado por cada modalidade. A ferramenta calcula a energia/ tonelada.km e o índice de CO₂/tonelada.km de cada modalidade escolhida e multiplica pelo peso e distância do produto transportado.

Figura 16 - Tela do software mostrando as principais entradas e seleções da fase transporte.

A imagem mostra a interface do software na aba "Transport". Há uma tabela com três colunas: "Name", "Transport type" e "Distance (km)". A primeira linha da tabela contém o texto "Frete rodoviário CD-Loja", "32 tonne truck" e "250". O menu suspenso "Transport type" está aberto, mostrando uma lista de opções: "Sea freight", "River/canal freight", "Rail freight", "32 tonne truck" (destacada), "14 tonne truck", "Light goods vehicle", "Air freight - long haul", "Air freight - short haul" e "Helicopter". Uma seta aponta de "32 tonne truck" no menu para um texto explicativo: "Modalidade de transporte e suas diversas opções para seleção."

Name	Transport type	Distance (km)
Frete rodoviário CD-Loja	32 tonne truck	250

Modalidade de transporte e suas diversas opções para seleção.

Fonte: o autor

3.1.3 Uso

A fase uso pode ser dividida em duas classificações: produtos estáticos e/ou dinâmicos. Os produtos estáticos são aqueles que precisam de energia para

funcionar, por exemplo os eletrodomésticos, e suas características de consumo devem ser inseridas, como a potência e a quantidade de uso em dias e horas. Os produtos dinâmicos, como veículos, requerem a inserção de informações do perfil de uso como tipo de combustível e a quantidade de uso em dias e distância. Ao selecionar o país de utilização a matriz energética é automaticamente selecionada pelo *software* (ASHBY et al., 2012).

O impacto ecológico da fase uso não tem relação com a energia incorporada dos materiais. A energia da fase uso está relacionada a eficiência mecânica, térmica e elétrica do sistema. No caso de um veículo, a eficiência do combustível está relacionada com sua massa e minimizar a massa do componente passa a ser o objetivo para reduzir o impacto ambiental (ASHBY, 2005).

Figura 17 - Tela do software mostrando as principais entradas e seleções da fase uso e opções disponíveis para matriz de energia elétrica e de combustível.

The screenshot displays the 'Use' phase configuration window. It includes the following elements:

- Product life:** A field set to '1' with a unit of 'Years'.
- Country of use:** A dropdown menu currently showing 'Brazil'.
- Static mode:** A section with a checked box 'Product uses the following energy:' and a dropdown for 'Energy input and output' set to 'Electric to thermal'. It includes input fields for 'Power rating' (0 kW), 'Usage' (0 days per year), and 'Usage' (0 hours per day).
- Mobile mode:** A section with an unchecked box 'Product is part of or carried in a vehicle:' and a dropdown for 'Fuel and mobility type' set to 'Diesel - ocean shipping'. It includes input fields for 'Usage' (0 days per year) and 'Distance' (0 km per day).
- Selections:** A box labeled 'Seleção do país e da respectiva matriz energética' is linked to the 'Country of use' dropdown.
- Characteristics of use:** A box labeled 'Características de uso' is linked to the usage input fields.
- Energy Options:** Two dropdown menus are shown below. The left one, 'Electric to thermal', lists options like 'Electric to mechanical (electric motors)', 'Electric to chemical (lead acid battery)', 'Electric to chemical (advanced battery)', 'Electric to em radiation (incandescent lamp)', 'Electric to em radiation (LED)', 'Fossil fuel to thermal, enclosed system', 'Fossil fuel to thermal, vented system', 'Fossil fuel to electric', 'Fossil fuel to mechanical, internal combustion', 'Fossil fuel to mechanical, steam turbine', and 'Fossil fuel to mechanical, fuel cell'. The right one, 'Diesel - ocean shipping', lists options like 'Diesel - ocean shipping', 'Diesel - coastal shipping', 'Diesel - rail', 'Diesel - heavy goods vehicle', 'Diesel - light goods vehicle', 'Diesel - family car', 'Electric - family car', 'Electric - rail', 'Gasoline - hybrid family car', 'Gasoline - family car', and 'Gasoline - super sports and SUV'.
- Labels:** Two boxes at the bottom label the energy options: 'Opções de energia para o módulo estático' (left) and 'Opções de energia para o módulo dinâmico' (right).

Fonte: o autor

3.1.4 Final de vida

A fase de final de vida pode ser selecionada por uma lista suspensa com opções relevantes de acordo com o tipo de material. Podem ser:

- Aterro: descarte em aterros sanitários sem nenhum benefício energético;
- Incineração: utilizada para recuperar a energia calorífica de um material, mas provoca a liberação de gases, como dióxido de carbono;
- *Downcycle*: o material é reprocessado e tem uma qualidade inferior ao material virgem. É o processo de utilizar o material com uma outra finalidade, como por exemplo utilizar garrafas PET para construção civil. O *software* considera 3 tipos de técnicas: reprocessamento, cominuição e reaproveitamento de metais;
- Reciclagem: o material é reprocessado e apresenta uma qualidade similar ao produto virgem. A economia está associada ao cálculo de energia e CO₂ para o processamento de um material virgem menos a energia e CO₂ para o processamento do material reciclado;
- Reprocessamento: os componentes são recuperados de um produto e reutilizados em um novo produto ou como substitutos de alguma parte;
- Reuso: é a extensão do final de vida de um produto e como não há nenhum processo envolvido esse tipo de descarte oferece os maiores benefícios ambientais;
- Nenhum: relativo aos produtos que não tem descarte no final de vida, como o entulho de um prédio que é deixado no local após demolição.

3.2 ACV: Objetivo e escopo do trabalho

Conforme a metodologia apresentada na Figura 12, o primeiro passo para realização de uma ACV é a determinação do objetivo e do escopo.

O mercado brasileiro de cervejas utiliza dois tipos principais de vasilhames: latinhas de alumínio e garrafas de vidro. As latinhas representam 46,7% do volume total de venda e as garrafas de vidro envasam 53,3% do volume total de cerveja vendida no Brasil, conforme figura 6 (CERVBRASIL, 2016). Sendo assim, o presente trabalho avaliou o potencial de final de vida para cada tipo de material, com diferentes composições de matéria-prima e de destinação. Os vasilhames encontrados no mercado brasileiro e selecionados para esse estudo foram: garrafas de vidro de 355 mL, garrafas de vidro de 600 mL, garrafas de vidro de 1000 mL, latinhas de alumínio de 269 mL, latinhas de alumínio de 350 mL, latinhas de alumínio de 473 mL e latinhas de alumínio de 1000 mL.

A ferramenta Eco Audit do *software* CES EduPack 2016 foi utilizada com o objetivo de identificar a etapa crítica, que mais impacta o meio ambiente, e auxiliar na tomada de decisões para a escolha de uma alternativa que reduza a pegada de carbono deste tipo de produto.

Um volume de cerveja base de mil litros foi adotado, para base de cálculo, e a análise foi feita considerando a quantidade de vasilhames necessários para envasilhar esse volume. A Tabela 1 apresenta a quantidade de frascos necessárias para cada tipo de vasilhame.

Tabela 1 - Descrição dos vasilhames para um volume de mil litros de cerveja

Tipo de vasilhame	Capacidade (mL)	Massa (g)	Quantidade de vasilhames	Massa matéria-prima total (kg)
Garrafa de vidro	355	190	2.817	535
Garrafa de vidro	600	360	1.667	600
Garrafa de vidro	1.000	680	1.000	680
Lata de alumínio	269	12	3.717	45
Lata de alumínio	350	14,5	2.857	41
Lata de alumínio	473	18	2.114	38
Lata de alumínio	1.000	85	1.000	85

Fonte: ABRALATAS (2018); VIDROPORTO (2018)

O aumento de matéria-prima utilizada para fabricação de garrafas não segue uma proporção para o aumento de sua capacidade. Caso a relação entre a matéria-prima utilizada e o volume do vasilhame fossem proporcionais, a garrafa de vidro de 1000 mL deveria ter uma massa de 535 g. A relação não é proporcional porque as garrafas de 600 mL e de 1000 mL são fabricadas com finalidade de reuso e, para que sejam mais resistentes e atendam essa destinação final, suas paredes são mais espessas e é necessário utilizar mais matéria-prima para sua produção.

3.3 ACV: Análise de inventário

Os dados de entrada do *software* incluem a escolha de uma matéria-prima para cada tipo de vasilhame. As matérias-primas estão disponíveis em um banco de dados do *software*. A quantidade de peças a ser produzida de cada tipo de vasilhame está descrita na Tabela 1.

Os dados de saída do *software* são apresentados em forma de relatórios com gráficos e tabelas. Para facilitar a comparação entre os tipos de vasilhames os dados de saída foram agrupados em tabelas. Os resultados são apresentados no item 4 deste estudo.

3.3.1 Fase material: vidro

O vasilhame de vidro é composto pelo corpo da garrafa, feito de um material de soda e sílica basicamente, e pelas tampas de metal.

A composição do material selecionado para a garrafa de vidro está descrita na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição do material da garrafa de vidro – soda-lime

Composição	%
Alumina (Al_2O_3)	1,0
Óxido de Cálcio (CaO)	5,0
Óxido de sódio (Na_2O)	17,0
Óxido de Magnésio (MgO)	4,0
Silica (SiO_2)	73,0

A massa de uma tampinha de garrafa de vidro é de 2 g. O método de Ashby propõe, para efeitos de análise, que apenas os componentes que representam 95% da massa do produto sejam considerados (ASHBY et al., 2012). Nos casos em que a garrafa tem destinação final em aterro ou é reciclada, a massa das tampas de metal é desprezível. Porém, considerando o reuso da garrafa, a tampa de metal passa a ter uma fração mássica superior a 5% conforme apresentado na Tabela 3 e na Tabela 4.

Uma garrafa de vidro é projetada para ser reutilizada até 20 vezes (AMBEV, 2018). Contudo, o número de retornos que o vasilhame efetivamente desenvolve é de difícil controle, pois as garrafas podem se quebrar na etapa de logística reversa ou ficarem guardadas no distribuidor ou na residência do consumidor (COLTRO, 2007). Segundo COLTRO (COLTRO, 2007) o sistema retornável somente é viável quando o índice de quebra dos vasilhames é inferior a 35%.

No presente estudo será adotada uma taxa de eficiência de 30% (6 reusos do vasilhame) e de 100% (20 reusos do vasilhame). Assim, para se obter a quantidade de tampinhas será necessário multiplicar a quantidade de reusos pela quantidade das garrafas descrita na Tabela 1. Para 6 reusos as informações estão apresentadas na Tabela 3 e para 20 reusos os resultados estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 3 – Descrição da quantidade de tampas de metal para 6 reusos das garrafas de vidro

Tipo de vasilhame	Garrafa de vidro 355 mL	Garrafa de vidro 600 mL	Garrafa de vidro 1000 mL
Qtd. de vasilhames	2.817	1.667	1.000
Massa de vidro (kg)	535	600	680
Qtd de tampas considerando reuso	16.902	10.002	6.000
Massa de metal (kg)	34	20	12
Fração mássica de metal da tampa	5,9%	3,2%	1,7%

Tabela 4 – Descrição da quantidade de tampas de metal para 20 reusos das garrafas de vidro

Tipos de vasilhames	Garrafa de vidro 355 mL	Garrafa de vidro 600 mL	Garrafa de vidro 1000 mL
Qtd de vasilhames	2.817	1.667	1.000
Massa de vidro (kg)	535	600	680
Qtd de tampas considerando reuso	56.340	33.340	20.000
Massa de metal (kg)	113	67	40
Fração mássica de metal da tampa	17,4%	10,0%	5,6%

Para utilização da garrafa de vidro 6 vezes a fração mássica de metal da tampa em relação à massa do produto (massa da tampa e massa da garrafa de vidro) varia de 1,7% a 5,9%, conforme Tabela 3. Como no caso do reuso da garrafa de vidro 20 vezes a fração mássica é mais significativa e varia de 5,6% a 17,4%, conforme Tabela 4, as tampas de metal serão consideradas na análise do estudo, para uniformização dos dados de entrada. O material escolhido como matéria-prima da tampa da garrafa de vidro foi ferro fundido cinzento e sua composição está apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 – Composição do material da tampa da garrafa de vidro – ferro fundido cinzento

Composição	%
Carbono	3,2 - 4,1
Enxofre (S)	<0,03
Ferro (Fe)	92,2 - 95
Fósforo (P)	<0,1
Manganês (Mn)	<0,8
Silício (Si)	1,8 - 2,8

3.3.2 Fase material: alumínio

O vasilhame de alumínio contém apenas componentes de ligas de alumínio, sendo este o único material de entrada. A composição do material selecionado para a latinha de alumínio está descrita na Tabela 6.

Tabela 6 - Composição do material da latinha de alumínio - liga de alumínio 3004 H19

Composição	%
Alumínio (Al)	95,6 - 98,2
Cobre (Cu)	0-0,25
Ferro (Fe)	0-0,7
Mg (magnésio)	0,8-1,3
Mn (Manganês)	1-1,5
Si (sílica)	0-0,3
Zn (zinco)	0-0,25
Outros	0-0,15

Será considerada uma fração típica de componentes reciclados e que as tampinhas de metal serão destinadas à reciclagem,

3.3.3 Fase transporte

O transporte adotado foi o frete rodoviário em caminhão de 14 toneladas. Como as grandes fabricantes de vidro e latinha de alumínio estão localizadas em capitais estaduais e, portanto, próximas aos centros consumidores, a distância considerada foi de 250 km, um raio de distância médio.

Para casos de reuso das garrafas a distância percorrida sofreu um ajuste. Adotou-se que o vasilhame seria reutilizado 6 ou 20 vezes. Para o reuso é necessário considerar um percurso de ida, com as garrafas, as tampas das garrafas e o líquido, e um percurso de volta, com a garrafa de vidro vazia. Isto porque a cada uso o vasilhame precisa retornar para a fábrica a fim de ser higienizada e reabastecida. A distância de 250 km na ida foi multiplicada pela quantidade de reusos da garrafa. Da mesma forma, a distância do percurso de volta foi obtida pela multiplicação do percurso de 250 km vezes a quantidade de reusos da garrafa. O valor da pegada de carbono da fase transporte foi obtido a partir da soma dos valores para cada um dos percursos. As demais fases apresentaram os mesmos valores e devem ser consideradas apenas uma vez.

3.3.4 Fase uso

Com relação a fase uso, um tempo de uma hora foi adotado para 355 mL de líquido. Assim, vasilhames de até 355 mL tiveram 1 hora de refrigeração, vasilhames de 500 a 600 mL tiveram 2 horas de refrigeração e vasilhames de 1000 mL tiveram 3 horas de refrigeração. Estes valores são uma média, isto porque do ponto de vista do consumidor e dos comércios que vendem essas bebidas, dificilmente o produto fica no refrigerador apenas no período de tempo necessário para que fique gelado, sendo que a energia para manter a bebida refrigerada também é empregada, mas não será considerada neste estudo. A potência média de um refrigerador no Brasil é 250W, segundo dados da CEMIG, considerada a maior empresa integrada do setor de energia elétrica do Brasil (CEMIG, 2018).

Para casos de reuso de garrafas os valores de entrada da fase uso foram multiplicados pela quantidade de reutilizações do vasilhame.

A Figura 18 apresenta os principais dados de entrada para uma garrafa de vidro de 1000 mL de cerveja. Para os outros tipos de vasilhames a quantidade de peças e massa foi alterada, de acordo com os dados da Tabela 1.

Figura 18 - Tela de inserção de dados exemplificando os dados inseridos para vasilhames de vidro. A imagem apresenta como exemplo uma garrafa de vidro de 1000 mL e final de vida reuso com 100% de eficiência.

Product information ?

Name: Garrafa 1000 mL_ reuso 20 vezes

Material, manufacture and end of life ?

Qty.	Component name	Material	Recycled content	Mass (kg)	Primary process	End of life
1000	Garrafa de vidro	 Borosilicate - 2405	50,0%	0,68	Glass molding	Reuse
20000	Tampa da garrafa	 Stainless steel, austenitic	Typical %	0,002	Casting	Recycle
1000	Cerveja			1		None

Transport ?

Name	Transport type	Distance (km)
	14 tonne truck	5000

Use ?

Product life: 1 Years

Country of use: Brazil

Static mode

☒ Product uses the following energy:

Energy input and output: Electric to thermal

Power rating: 250 W

Usage: 20 days per year

Usage: 3 hours per day

Mobile mode

☐ Product is part of or carried in a vehicle:

Fuel and mobility type: Diesel - ocean shipping

Usage: 0 days per year

Distance: 0 km per day

Fonte: o autor

A Figura 19 apresenta os principais dados de entrada para uma lata de alumínio de 350 mL de cerveja. Para os outros tipos de latas a quantidade de peças e massa foi alterada, de acordo com os dados da *Tabela 1*.

Figura 19 - Tela de inserção de dados exemplificando os dados inseridos para vasilhames de alumínio.

Product information ?

Name: Lata de alumínio 350ml

Material, manufacture and end of life ?

Qty.	Component name	Material	Recycled content	Mass (kg)	Primary process	End of life
2857	Lata de alumínio - 350ml	Aluminum, 3004, H19	90,0%	0,0145	Rough rolling	Recycle
2857	Cerveja			0,35		None

Transport ?

Name	Transport type	Distance (km)
Frete CD-Loja	14 tonne truck	250

Use ?

Product life: 1 Years

Country of use: Brazil

Static mode

☒ Product uses the following energy:

Energy input and output: Electric to thermal

Power rating: 250 W

Usage: 1 days per year

Usage: 1 hours per day

Mobile mode

☐ Product is part of or carried in a vehicle:

Fuel and mobility type: Diesel - ocean shipping

Usage: 0 days per year

Distance: 0 km per day

Fonte: o autor

3.3.5 Final de vida

Com relação ao final dos produtos foi adotado que a garrafa de vidro poderia ser destinada ao aterro, à reciclagem ou ao reuso. A latinha de alumínio é destinada exclusivamente à reciclagem.

3.4 ACV: Avaliação de impacto

A etapa de avaliação de impacto, tal como descrita na Figura 12, será feita no item 4 deste estudo.

3.5 ACV: Interpretação

A etapa de interpretação, tal como descrita na Figura 12, será feita no item 5 deste estudo.

3.6 Visita técnica na fábrica de vidros AMBEV

A AMBEV, uma das empresas fundadoras da CervBrasil, inaugurou em 2008 uma fábrica de vidros no Rio de Janeiro, com capacidade para atender 50% das necessidades de vasilhames de vidro da empresa (KOMATSU, 2008). Uma visita técnica foi feita à esta fábrica em setembro de 2018. O supervisor de Meio Ambiente e Utilidades, João Raphael Games Monteiro, foi responsável por guiar a visita.

As diversas dúvidas que surgiram foram esclarecidas e algumas informações interessantes foram coletadas. Para corroborar essas informações o site institucional da AMBEV foi consultado também.

Atualmente há um esforço para incentivar a utilização das garrafas de vidro retornáveis que além de mais baratas, provocam menor impacto ambiental. As garrafas de vidro produzidas na fábrica de vidros AMBEV são feitas com uma composição de matéria-prima reciclada de 60%, relativa aos cacos provenientes das cervejarias da empresa ou de cooperativas de catadores de materiais recicláveis parceiras. Cerca de 88% do volume de cerveja comercializado está envasilhado em garrafas retornáveis e/ou fabricada com matéria-prima reciclada. As garrafas retornáveis têm capacidade volumétrica de 600 mL ou de 1000 mL e podem ser utilizadas até 20 vezes (AMBEV, 2018).

A gestão de resíduos sólidos industriais tem elevado índice de eficiência. O reaproveitamento de subprodutos do processo produtivo representa mais de 99% de todo o resíduo sólido gerado e é uma fonte de receita para a empresa. Como exemplo, o bagaço do malte e o fermento residual viram ração animal e o lodo proveniente das estações de tratamento de efluentes vira adubo orgânico (AMBEV, 2018).

A AMBEV conta com um programa de sustentabilidade, o AMBEV Recicla, que promove ações para desenvolver e aumentar a produtividade das organizações de catadores parceiras presente em mais de 10 estados brasileiros. Através de investimentos em capacitação, doação de equipamentos e técnicas de melhorias de gestão e de infraestrutura nas cooperativas parceiras, o objetivo do programa é contribuir para o aumento da reciclagem no Brasil e da geração de renda para organizações de catadores de materiais recicláveis. A atuação é alinhada com a PNRS e dividida em frentes:

- (1) Educação ambiental;
- (2) Apoio às cooperativas e associações de catadores de materiais recicláveis;
- (3) Pontos de entrega voluntária (PEVs) de resíduos;
- (4) Fomento ao movimento reciclagem;
- (5) Embalagens sustentáveis.

Segundo a AMBEV, desde que foi criado, o programa já contribuiu para o aumento de 13% na renda das organizações apoiadas, beneficiando diretamente mais de 1.300 catadores. Também já foram realizadas mais de 420 iniciativas de educação ambiental, impactando cerca de 45 mil pessoas diretamente e outras 900 mil indiretamente (AMBEV, 2018).

O supervisor da fábrica informou que o aumento da eficiência do processo de reuso das garrafas de vidro pode acarretar em uma redução da quantidade de caco de vidro disponível para fabricação de novas garrafas de vidro, fazendo ser necessário captar caco de outras fontes, onerando o processo. Ficou subentendido que, de certa forma, a AMBEV lida com situações controversas: por um lado, aumentar o índice de eficiência no processo de reuso dos vasilhames de vidro reduz o impacto ambiental da fabricação de novas garrafas, por outro lado, a redução da disponibilidade de cacos utilizada como matéria-prima reciclada dificultaria o atingimento de meta da empresa de que em 2025 os vasilhames de vidro sejam majoritariamente feitos a partir de matéria-prima reciclada ou sejam vasilhames retornáveis. Há um desafio na logística reversa do caco de vidro e para que a reciclagem seja viável economicamente, o caco de vidro deve chegar na fábrica por um valor máximo de R\$ 400,00 por tonelada, considerando material e frete de carregamento do caminhão. Este é o valor máximo para compensar a economia de combustível e energia utilizados nos fornos para a fusão do material. Estima-se que para cada um por cento de material reciclado adicionado ao forno há uma redução de 4% no consumo de energia do forno.

Algumas sugestões de melhoria para o processo de logística foram levantados, como a instalação de máquinas trituradoras nas cooperativas, antes do material ser levado à fábrica. O beneficiamento e cominuição do caco de vidro agrega mais valor, possibilitando que as cooperativas o vendam por um preço maior.

4. RESULTADOS

A avaliação de impacto é a fase de processamento dos dados, que são convertidos em impactos ambientais por fatores de equivalência para a obtenção de unidades comuns. Neste estudo a unidade comum adotada para saída e análise dos dados foi kg de CO₂.

4.1 Análise de Ciclo de Vida dos vasilhames com utilização do *software*

Com a utilização do *software* CES EduPack 2016 foi possível determinar a pegada de carbono das fases material, manufatura, transporte e uso assim como o potencial de fim de vida para diferentes vasilhames, considerando suas diferentes matérias-primas e disposições. Os relatórios para cada tipo de descarte foram gerados no *software* separadamente e os dados foram compilados em tabelas para o mesmo tipo de vasilhame e/ou material.

Os dados de entrada no *software* para matéria-prima da garrafa de vidro estão de acordo com a Tabela 2, os dados da matéria-prima da tampa de metal estão de acordo com a Tabela 5 e os dados da matéria-prima da latinha de alumínio estão de acordo com a Tabela 6. As quantidades de vasilhames para cada caso de entrada estão de acordo com a Tabela 1. No caso de reuso das garrafas de vidro, as quantidades de tampa de metal seguiram os dados da Tabela 3 e da Tabela 4, dependendo da eficiência no processo de reuso dos vasilhames de vidro.

4.1.1 Garrafas de vidro de 355 mL

Os dados de pegada de carbono obtidos para a garrafa de vidro de 355 mL foram consolidados e são apresentados em diferentes tabelas, de acordo com a disposição final. Na Tabela 7 estão os dados para disposição da garrafa de vidro em aterro; na Tabela 8 estão os dados para reciclagem da garrafa de vidro; nas Tabela 9 e na Tabela 10 estão os dados para reuso da garrafa de vidro e reciclagem da tampa de metal.

Para cada tipo de descarte foi feita uma média dos valores de pegada de carbono de cada fase do ciclo de vida do vasilhame, a fim de se obter o percentual médio da fase, ou seja, a segunda coluna das tabelas seguintes indica a representatividade de cada fase no ciclo de vida total do produto. A última linha da

tabela apresenta o valor total de pegada de carbono, isto é, o valor total de CO₂ de primeira vida somado ao potencial de fim de vida ("crédito carbono"). Para os casos da garrafa de vidro tendo como disposição final o reuso, os valores de pegada de carbono obtidos no *software* foram divididos pela sua quantidade de utilizações, de acordo com a eficiência. A Tabela 9 apresenta os dados de saída do *software* divididos por 6, já que a eficiência no processo de reuso da garrafa é de 30%. A Tabela 10 apresenta os dados de saída do *software* divididos por 20, já que a eficiência no processo de reuso da garrafa é de 100%.

Tabela 7 - Pegada de CO₂ (kg de CO₂) da garrafa de 355 mL, sendo aterro o destino final

Fase	% Médio da fase	Matéria-prima		
		Virgem	50% reciclada	90% reciclada
Material	49%	405	375	352
Manufatura	47%	368	368	368
Transporte	3%	23	23	23
Uso	0%	0,02	0,02	0,02
Descarte	1%	7	7	7
Total (primeira vida)	100%	804	774	751
Potencial de fim de vida	0%	0	0	0
Total (primeira vida + fim de vida) de CO₂	100%	804	774	751

Tabela 8 - Pegada de CO₂ (kg de CO₂) da garrafa de 355 mL, sendo reciclagem o destino final

Fase	% Médio da fase	Matéria-prima		
		Virgem	50% reciclada	90% reciclada
Material	47%	405	375	352
Manufatura	46%	368	368	368
Transporte	3%	23	23	23
Uso	0%	0	0	0
Descarte	3%	26	26	26
Total (primeira vida)	100%	822	792	769
Potencial de fim de vida	-4%	-60	-30	-6
Total (primeira vida + fim de vida) de CO₂	96%	763	763	763

Tabela 9- Pegada de CO₂ (kg de CO₂) da garrafa de 355 mL, com 6 reusos

Fase	% Médio da fase	Matéria-prima		
		Virgem	50% reciclada	90% reciclada
Material	41%	73	68	64
Manufatura	39%	66	66	66
Transporte	19%	32	32	32
Uso	0%	0,02	0,02	0,02
Descarte	1%	2	2	2
Total (primeira vida)	100%	172	167	163
Potencial de fim de vida	-39%	-69	-64	-61
Total (primeira vida + fim de vida) de CO ₂	61%	103	103	103

Tabela 10 - Pegada de CO₂ (kg de CO₂) da garrafa de 355 mL, com 20 reusos

Fase	% Médio da fase	Matéria-prima		
		Virgem	50% reciclada	90% reciclada
Material	30%	26	24	23
Manufatura	28%	23	23	23
Transporte	41%	33	33	33
Uso	0%	0,02	0,02	0,02
Descarte	1%	1	1	1
Total (primeira vida)	100%	82	81	79
Potencial de fim de vida	-26%	-22	-21	-19
Total (primeira vida + fim de vida) de CO ₂	74%	60	60	60

Os vasilhames destinados ao aterro não apresentaram valor para o potencial de fim de vida, isto porque o aterro é um tipo de descarte que não reaproveita o material do produto e deixa de ganhar crédito em carbono no final do seu ciclo vida. O valor total de pegada de carbono considerando a primeira vida e o potencial de fim de vida (última linha da Tabela 7) foi o maior obtido entre todos os tipos de descarte para a garrafa de vidro de 355 mL, com destaque para a garrafa produzida exclusivamente com matéria-prima virgem.

Os vasilhames destinados à reciclagem apresentaram uma pegada de carbono total de cerca de 763 kg, conforme Tabela 8. Isso quer dizer que 763 kg de CO₂ são emitidos para a produção de 2817 garrafas de 355 mL. O valor de potencial de fim de vida do produto em relação ao total de primeira vida é de 4%, ou seja, o processo de reciclagem recupera ou deixa de emitir 4% do valor total de carbono da primeira vida. De acordo com a Tabela 8, o produto fabricado a partir de matéria-prima virgem tem uma pegada de carbono na fase material maior do que o produto fabricado com matéria-prima 90% reciclada, por outro lado, seu potencial de final de vida também é maior. O potencial de fim de vida da garrafa fabricada com matéria-prima virgem é de 60 kg de CO₂ e o potencial de fim de vida da garrafa fabricada com matéria-prima 90% reciclada é de 6 kg de CO₂, um valor que representa apenas 10% do potencial de fim de vida do produto fabricado com matéria-prima virgem. Isto acontece porque a utilização de matéria-prima virgem tem um potencial de recuperação de carbono de 100% e a matéria-prima 90% reciclada tem um potencial de recuperação de carbono de 10%. A variação da composição da matéria-prima utilizada na fabricação do produto não altera o valor total de final de vida, considerando a soma do valor de CO₂ da primeira vida com o valor do potencial de fim de vida, pois esse indicador é influenciado pela massa do produto. A fase material e manufatura são muito significativas, representando cerca de 96% do total de emissões de carbono no ciclo de vida da garrafa.

Os vasilhames destinados ao processo de reuso com eficiência de 30% apresentaram uma pegada de carbono total de cerca de 103 kg, conforme Tabela 9. Os vasilhames com eficiência de reuso de 100% apresentaram uma pegada de carbono total de cerca de 60 kg, conforme Tabela 9. É possível observar que uma melhor eficiência no processo de reuso do vasilhame contribui para a redução na pegada de carbono, mas essa relação não é linear. O aumento da eficiência do processo de reuso da garrafa contribui, também, para uma mudança na representatividade de pegada de carbono de cada fase do ciclo de vida do produto. Quanto maior a eficiência do reuso, maior a representatividade da fase transporte no ciclo de vida, pois a garrafa de vidro precisa ser transportada mais vezes até a fábrica para os processos de higienização e de reabastecimento.

As garrafas de 355 mL produzidas a partir de matéria-prima virgem e destinadas ao aterro apresentaram a pior emissão de CO₂. Considerando o total de

primeira vida somado ao potencial de fim de vida, os vasilhames destinados à reciclagem têm um crédito carbono maior do que os vasilhames destinados ao aterro, e os produtos deixam de emitir de cerca de 4%. O reuso dos vasilhames apresenta os melhores resultados e a emissão de CO₂ da garrafa com 100% de eficiência no processo de reuso emite o equivalente a 7% do total de CO₂ do vasilhame destinado ao aterro.

4.1.2 Garrafas de vidro de 600 mL

Os dados de pegada de carbono obtidos para a garrafa de vidro de 600 mL foram consolidados e são apresentados em diferentes tabelas, de acordo com a disposição final. Na Tabela 11 estão os dados para disposição em aterro da garrafa de vidro; na Tabela 12 estão os dados para reciclagem da garrafa de vidro; na Tabela 13 e na Tabela 14 estão os dados para reuso da garrafa de vidro e reciclagem da tampa de metal.

Para cada tipo de descarte foi feita uma média dos valores de pegada de carbono de cada fase do ciclo de vida do vasilhame, a fim de se obter o percentual médio da fase, ou seja, a segunda coluna das tabelas seguintes indica a representatividade de cada fase no ciclo de vida total do produto. A última linha da tabela apresenta o valor total de pegada de carbono, isto é, o valor total de CO₂ de primeira vida somado ao potencial de fim de vida ("crédito carbono"). Para os casos da garrafa de vidro tendo como disposição final o reuso, os valores de pegada de carbono obtidos no software foram divididos pela sua quantidade de utilizações, de acordo com a eficiência. A Tabela 13 apresenta os dados de saída do software divididos por 6, já que a eficiência no processo de reuso da garrafa é de 30%. A Tabela 14 apresenta os dados de saída do *software* divididos por 20, já que a eficiência no processo de reuso da garrafa é de 100%.

Tabela 11- Pegada de CO₂ (kg de CO₂) da garrafa de 600 mL, sendo aterro o destino final

Fase	% Médio da fase	Matéria-prima		
		Virgem	50% reciclada	90% reciclada
Material	49%	454	421	394
Manufatura	48%	413	413	413
Transporte	3%	24	24	24
Uso	0%	0,04	0,04	0,04
Descarte	1%	8	8	8
Total (primeira vida)	100%	900	867	840
Potencial de fim de vida	0%	0	0	0
Total (primeira vida + fim de vida) de CO ₂	100%	900	867	840

Tabela 12 - Pegada de CO₂ (kg de CO₂) da garrafa de 600 mL, sendo reciclagem o destino final

Fase	% Médio da fase	Matéria-prima		
		Virgem	50% reciclada	90% reciclada
Material	48%	454	421	394
Manufatura	46%	413	413	413
Transporte	3%	24	24	24
Uso	0%	0,04	0,04	0,04
Descarte	3%	29	29	29
Total (primeira vida)	100%	921	887	861
Potencial de fim de vida	-4%	-67	-33	-7
Total (primeira vida + fim de vida) de CO₂	96%	854	854	854

Tabela 13 - Pegada de CO₂ (kg de CO₂) da garrafa de 600 mL, considerando 6 reusos

Fase	% Médio da fase	Matéria-prima		
		Virgem	50% reciclada	90% reciclada
Material	41%	79	73	69
Manufatura	40%	72	72	72
Transporte	19%	34	34	34
Uso	0%	0,04	0,04	0,04
Descarte	1%	2	2	2
Total (primeira vida)	100%	186	180	175
Potencial de fim de vida	-40%	-77	-71	-67
Total (primeira vida + fim de vida)	60%	109	109	109

Tabela 14 - Pegada de CO₂ (kg de CO₂) da garrafa de 600 mL, considerando 20 reusos

Fase	% Médio da fase	Matéria-prima		
		Virgem	50% reciclada	90% reciclada
Material	30%	26	24	23
Manufatura	28%	23	23	23
Transporte	41%	34	34	34
Uso	0%	0,04	0,04	0,04
Descarte	1%	0,6	0,6	0,6
Total (primeira vida)	100%	84	82	81
Potencial de fim de vida	-27%	-24	-22	-21
Total (primeira vida + fim de vida) de CO₂	73%	60	60	60

Os vasilhames destinados ao aterro não apresentaram valor para o potencial de fim de vida, isto porque o aterro é um tipo de descarte que não reaproveita o material do produto e deixa de ganhar crédito em carbono no final do seu ciclo vida. O valor total de pegada de carbono considerando a primeira vida e o potencial de fim de vida (última linha da Tabela 11) foi o maior obtido entre todos os tipos de descarte para a garrafa de vidro de 600 mL, com destaque para a garrafa produzida exclusivamente com matéria-prima virgem.

Os vasilhames destinados à reciclagem apresentaram uma pegada de carbono total de cerca de 854kg, conforme Tabela 12. Isso quer dizer que 854 kg de CO₂ são emitidos para a produção de 1667 garrafas de 600 mL. O valor de potencial de fim de vida do produto em relação ao total de primeira vida é de 4%, ou seja, o processo de reciclagem recupera ou deixa de emitir 4% do valor total de carbono da primeira vida. De acordo com a Tabela 12, o produto fabricado a partir de matéria-prima virgem tem uma pegada de carbono da fase material maior do que o produto fabricado com matéria-prima 90% reciclada, por outro lado, seu potencial de final de vida também é maior. O potencial de fim de vida da garrafa fabricada com matéria-prima virgem é de 67 kg de CO₂ e o potencial de fim de vida da garrafa fabricada com matéria-prima 90% reciclada é de 7 kg de CO₂, um valor que representa apenas cerca de 10% do potencial de fim de vida do produto fabricado com matéria-prima virgem. Isto acontece porque a utilização de matéria-prima virgem tem um potencial de recuperação de carbono de 100% e a matéria-prima 90% reciclada tem um potencial de recuperação de carbono de 10%. A variação da composição da matéria-prima utilizada na fabricação do produto não altera o valor total de final de vida, considerando a soma do valor de CO₂ da primeira vida com o valor do potencial de fim de vida, pois esse indicador é influenciado pela massa do produto. A fase material e manufatura são muito significativas, representando cerca de 94% do total de emissões de carbono no ciclo de vida da garrafa.

O destaque da reciclagem como disposição final está no aumento de pegada de carbono de forma proporcional ao aumento de massa de matéria-prima utilizada em relação as garrafas de 355 mL. Quer dizer, 535kg de matéria-prima são utilizadas para envasilhar mil litros de cerveja em garrafas de 355 mL e 600 kg de matéria-prima são utilizadas para envasilhar mil litros de cerveja em garrafas de 600 mL, conforme Tabela 1. Esse aumento de massa de matéria-prima necessária é de 12%.

Comparando o aumento de pegada de carbono que cada fase do ciclo de vida teve para os diferentes vasilhames e considerando reciclagem como destino final é possível concluir que o aumento segue essa razão em praticamente todas as fases. Na fase transporte o crescimento não seguiu o aumento de 12%, pois o líquido também é considerado na massa de transporte. Já na fase uso, foi considerado um valor diferente de utilização do refrigerador para cada tamanho de garrafa. A razão entre cada fase é apresentada na Tabela 15.

Tabela 15 - Razão entre as fases para diferentes tipos de garrafas com matéria-prima 90% reciclada e destino final reciclagem.

Fase	Matéria-prima 90% reciclada		
	Garrafa de 355 mL	Garrafa de 600 mL	Razão entre os vasilhames de 600 mL e 355 mL/
Material	352	394	112%
Manufatura	368	413	112%
Transporte	23	24	104%
Uso	0,02	0,04	200%
Descarte	26	29	112%
Total (primeira vida)	769	861	112%
Potencial de fim de vida	-6	-7	116%
Total (primeira vida + fim de vida) de CO ₂	763	854	112%

Os vasilhames de 600 mL destinados ao reuso com eficiência de processo de 30% apresentaram uma pegada de carbono total de cerca de 109 kg, conforme Tabela 13. Os vasilhames com eficiência de reuso de 100% apresentaram uma pegada de carbono total de cerca de 60 kg, conforme Tabela 14. É possível observar que uma melhor eficiência no processo de reuso do vasilhame contribui para a redução na pegada de carbono, mas essa relação não é linear. O aumento da eficiência do processo de reuso da garrafa contribui, também, para uma mudança na representatividade de pegada de carbono de cada fase do ciclo de vida do produto. Quanto maior a eficiência do reuso, maior a representatividade da fase transporte no ciclo de vida, pois a garrafa de vidro precisa ser transportada mais vezes até a fábrica para os processos de higienização e de reabastecimento.

As garrafas de 600 mL produzidas a partir de matéria-prima virgem e destinadas ao aterro apresentaram a pior emissão de CO₂. Considerando o total de primeira vida somado ao potencial de fim de vida, os vasilhames destinados à reciclagem emitem cerca de 5% menos CO₂ do que os vasilhames destinados ao aterro. O reuso dos vasilhames apresenta os melhores resultados e a emissão de CO₂ da garrafa com 100% de eficiência no processo de reuso emite o equivalente a 7% do total de CO₂ do vasilhame destinado ao aterro.

4.1.3 Garrafas de vidro de 1000 mL

Os dados de pegada de carbono obtidos para a garrafa de vidro de 600 mL foram consolidados e são apresentados em diferentes tabelas, de acordo com a disposição final. Na Tabela 16 estão os dados para disposição da garrafa de vidro em aterro; na Tabela 17 estão os dados para reciclagem da garrafa de vidro; na Tabela 18 e na Tabela 19 estão os dados para reuso da garrafa de vidro e reciclagem da tampa de metal.

Para cada tipo de descarte foi feita uma média dos valores de pegada de carbono de cada fase do ciclo de vida do vasilhame, a fim de se obter o percentual médio da fase, ou seja, a segunda coluna das tabelas seguintes indica a representatividade de cada fase no ciclo de vida total do produto. A última linha da tabela apresenta o valor total de pegada de carbono, isto é, o valor total de CO₂ de primeira vida somado ao potencial de fim de vida ("crédito carbono"). Para os casos da garrafa de vidro tendo como disposição final o reuso, os valores de pegada de carbono obtidos no software foram divididos pela sua quantidade de utilizações, de acordo com a eficiência. A Tabela 18 apresenta os dados de saída do software divididos por 6, já que a eficiência no processo de reuso da garrafa é de 30%. A Tabela 19 apresenta os dados de saída do software divididos por 20, já que a eficiência no processo de reuso da garrafa é de 100%.

Tabela 16 - Pegada de CO₂ (kg de CO₂) da garrafa de 1000 mL, sendo aterro o destino final

Fase	% Médio da fase	Matéria-prima		
		Virgem	50% reciclada	90% reciclada
Material	49%	515	477	447
Manufatura	48%	468	468	468
Transporte	3%	25	25	25
Uso	0%	0,06	0,06	0,06
Descarte	1%	10	10	10
Total (primeira vida)	100%	1018	980	950
Potencial de fim de vida	0%	0	0	0
Total (primeira vida + fim de vida) de CO₂	100%	1018	980	950

Tabela 17 - Pegada de CO₂ (kg de CO₂) da garrafa de 1000 mL, sendo reciclagem o destino final

Fase	% Médio da fase	Matéria-prima		
		Virgem	50% reciclada	90% reciclada
Material	48%	515	477	447
Manufatura	47%	468	468	468
Transporte	3%	25	25	25
Uso	0%	0,06	0,06	0,06
Descarte	3%	33	33	33
Total (primeira vida)	100%	1042	1004	974
Potencial de fim de vida	-4%	-76	-38	-8
Total (primeira vida + fim de vida) de CO ₂	96%	966	966	966

Tabela 18 - Pegada de CO₂ (kg de CO₂) da garrafa de 1000 mL, considerando 6 reusos

Fase	% Médio da fase	Matéria-prima		
		Virgem	50% reciclada	90% reciclada
Material	41%	88	81	76
Manufatura	40%	80	80	80
Transporte	18%	36	36	36
Uso	0%	0,06	0,06	0,06
Descarte	1%	2	2	2
Total (primeira vida)	100%	205	198	193
Potencial de fim de vida	-41%	-87	-80	-75
Total (primeira vida + fim de vida) de CO ₂	59%	118	118	118

Tabela 19 - Pegada de CO₂ (kg de CO₂) da garrafa de 1000 mL, considerando 20 reusos

Fase	% Médio da fase	Matéria-prima		
		Virgem	50% reciclada	90% reciclada
Material	30%	28	26	24
Manufatura	28%	25	25	25
Transporte	41%	36	36	36
Uso	0%	0,06	0,06	0,06
Descarte	1%	1	1	1
Total (primeira vida)	100%	89	88	86
Potencial de fim de vida	-28%	-26	-25	-23
Total (primeira vida + fim de vida) de CO ₂	72%	63	63	63

Os vasilhames destinados ao aterro não apresentaram valor para o potencial de fim de vida, isto porque o aterro é um tipo de descarte que não reaproveita o material do produto e deixa de ganhar crédito em carbono no final do seu ciclo vida. O valor total de pegada de carbono considerando a primeira vida e o potencial de fim de vida (última linha da Tabela 16) foi o maior obtido entre todos os tipos de descarte para a garrafa de vidro de 1000 mL, com destaque para a garrafa produzida exclusivamente com matéria-prima virgem.

Os vasilhames destinados à reciclagem apresentaram uma pegada de carbono total de cerca de 966 kg, conforme Tabela 17. Isso quer dizer que 966 kg de CO₂ são emitidos para a produção de 1000 garrafas de 1000 mL. O valor de potencial de fim de vida do produto em relação ao total de primeira vida é de 4%, ou seja, o processo de reciclagem recupera ou deixa de emitir 4% do valor total de carbono da primeira vida. De acordo com a Tabela 17, o produto fabricado a partir de matéria-prima virgem tem uma pegada de carbono da fase material maior do que o produto fabricado com matéria-prima 90% reciclada, por outro lado, seu potencial de final de vida também é maior. O potencial de fim de vida da garrafa fabricada com matéria-prima virgem é de 76 kg de CO₂ e o potencial de fim de vida da garrafa fabricada com matéria-prima 90% reciclada é de 8 kg de CO₂, um valor que representa apenas cerca de 10% do potencial de fim de vida do produto fabricado com matéria-prima virgem. Isto acontece porque a utilização de matéria-prima virgem tem um potencial de recuperação de carbono de 100% e a matéria-prima 90% reciclada tem um potencial de recuperação de carbono de 10%. A variação da composição da matéria-prima utilizada na fabricação do produto não altera o valor total de final de vida, considerando a soma do valor de CO₂ da primeira vida com o valor do potencial de fim de vida, pois esse indicador é influenciado pela massa do produto. A fase material e manufatura são muito significativas, representando cerca de 95% do total de emissões de carbono no ciclo de vida da garrafa.

O destaque da reciclagem como disposição final está no aumento de pegada de carbono de forma proporcional ao aumento de massa de matéria-prima utilizada em relação as garrafas de 355 mL. Quer dizer, 535kg de matéria-prima são utilizadas para envasilhar mil litros de cerveja em garrafas de 355 mL e 680 kg de matéria-prima são utilizadas para envasilhar mil litros de cerveja em garrafas de 1000 mL, conforme Tabela 1. Esse aumento de massa de matéria-prima necessária é de 27%.

Comparando o aumento de pegada de carbono que cada fase do ciclo de vida teve para os diferentes vasilhames e considerando reciclagem como destino final é possível concluir que o aumento segue essa razão em praticamente todas as fases. Na fase transporte o crescimento não seguiu o aumento de 27%, pois o líquido também é considerado na massa de transporte. Já na fase uso, foi considerado um valor diferente de utilização do refrigerador para cada tamanho de garrafa. A razão entre cada fase é apresentada na Tabela 20.

Tabela 20 - Razão entre as fases para diferentes tipos de vasilhames de vidro com matéria-prima 90% reciclada e destino final reciclagem.

Fase	Matéria-prima 90% reciclada		
	Garrafa de 355 mL	Garrafa de 1000 mL	Razão entre vasilhames de 1000 mL e 355 mL
Material	352	447	127%
Manufatura	368	468	127%
Transporte	23	25	109 %
Uso	0,02	0,06	300%
Descarte	26	33	127%
Total (primeira vida)	769	974	127%
Potencial de fim de vida	-6	-8	133%
Total (primeira vida + fim de vida) de CO₂	763	966	127%

Os vasilhames destinados ao reuso com eficiência de processo de 30% apresentaram uma pegada de carbono total de cerca de 118 kg de CO₂, conforme Tabela 18. Os vasilhames com eficiência de reuso de 100% apresentaram uma pegada de carbono total de cerca de 63 kg, conforme Tabela 19. É possível observar que uma melhor eficiência no processo de reuso do vasilhame contribui para a redução de pegada de carbono, mas essa relação não é linear. O aumento da eficiência do processo de reuso da garrafa contribui, também, para uma mudança na representatividade de pegada de carbono de cada fase do ciclo de vida do produto. Quanto maior a eficiência do reuso, maior a representatividade da fase transporte no

ciclo de vida, pois a garrafa de vidro precisa ser transportada mais vezes até a fábrica para os processos de higienização e de reabastecimento.

As garrafas de 1000 mL produzidas a partir de matéria-prima virgem e destinadas ao aterro apresentaram a pior emissão de CO₂. Considerando o total de primeira vida somado ao potencial de fim de vida, os vasilhames destinados à reciclagem emitem cerca de 5% menos CO₂ do que os vasilhames destinados ao aterro. O reuso dos vasilhames apresenta os melhores resultados e a emissão de CO₂ da garrafa com 100% de eficiência no processo de reuso emite o equivalente a 7% do total de CO₂ do vasilhame destinado ao aterro.

4.1.4 Latinhas de alumínio

A latinha de alumínio é um outro tipo de vasilhame tipicamente utilizada para venda de cerveja. Na Tabela 21 estão apresentados os dados de quatro vasilhames de capacidades volumétricas diferentes: 269 mL, 350 mL, 473 mL e 1000 mL.

Tabela 21 - Pegada de CO₂ (kg de CO₂) dos vasilhames de latinha de alumínio, sendo reciclagem o destino final

Fase	% Médio de cada fase	Vasilhame			
		Lata 269 mL	Lata 350 mL	Lata 473 mL	Lata 1000 mL
Material	89%	352	327	300	671
Manufatura	7%	27	25	23	52
Transporte	3%	15,8	15,7	15,7	16,4
Uso	0%	0,02	0,02	0,04	0,06
Descarte	1%	2	2	2	4
Total (primeira vida)	100%	397	370	341	743
Potencial de fim de vida	-59%	-234	-217	-199	-445
Total (primeira vida + fim de vida)	41%	163	153	142	298

A matéria-prima das latinhas de alumínio considerada foi de composição 50% reciclada. A pegada de carbono total das latas apresenta valores muito menores se comparado aos valores de pegada de carbono das garrafas de vidro com destino reciclagem, que tem pegada de carbono superior a 1000 kg de CO₂ para todos os vasilhames analisados.

A fabricação do vasilhame de alumínio requer uma massa de matéria-prima muito menor do que a massa de matéria-prima utilizada para fabricação da garrafa de vidro, conforme Tabela 1. Por exemplo, para envasilhar mil litros de cerveja em vasilhames de vidro de 355 mL são utilizados 535 kg de matéria-prima e para envasilhar o mesmo volume de cerveja em latinhas de alumínio de 350 mL são utilizados 45 kg de matéria-prima. Essa diferença de massa de matéria-prima reflete uma redução de 30% da emissão de CO₂ na fase transporte do ciclo de vida do produto.

5. DISCUSSÃO

A etapa de interpretação dos dados é a etapa de conclusão e validação dos resultados das etapas anteriores, tal como descrita na Figura 12. Nesta etapa os resultados foram avaliados criticamente.

A pegada de carbono total para os vasilhames de vidro de 355 mL, de 600 mL e de 1000 mL, considerando um volume de envase de 1000 litros de cerveja, foi obtida somando-se o total de primeira vida com o potencial de final de vida (“crédito de carbono”). Para a destinação final aterro o potencial de final de vida é zero, e, portanto, a pegada de CO₂ é a mesma do total de primeira vida. A utilização de matéria-prima reciclada na produção da garrafa de vidro que é descartada em aterro reduz a pegada de carbono na fase material, mas não aumenta o potencial de fim de vida do produto.

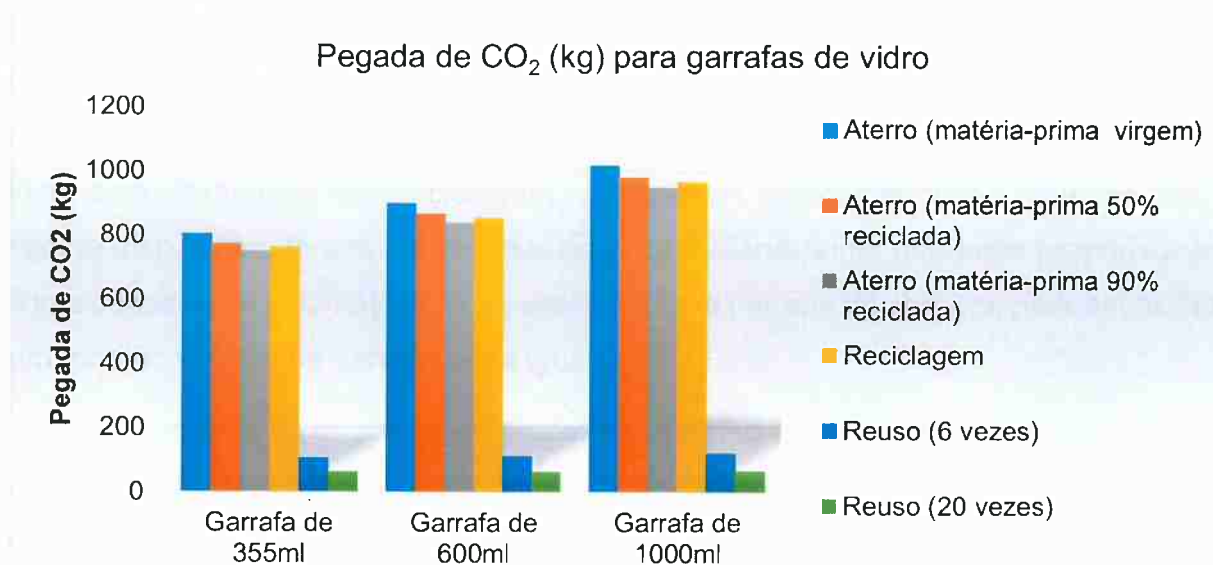
A utilização de material reciclado na composição da matéria-prima para vasilhames de vidro de diferentes capacidades volumétricas com destinação final de reciclagem não varia, isto é, a pegada de carbono total para garrafas de vidro que serão recicladas é a mesma, independentemente da utilização de matéria-prima reciclada em sua fabricação. O mesmo acontece para a pegada de carbono das garrafas de vidro que serão reutilizadas. O *software* considera que a fabricação de um produto utilizando matéria-prima com composição de reciclado menor terá maior potencial de final de vida, assim como a fabricação de um produto utilizando matéria-prima com composição de reciclado maior terá menor potencial de final de vida.

O pior resultado de pegada de carbono, dentre todos os tamanhos de garrafas de vidro consideradas neste estudo, foi o do vasilhame destinado ao aterro e fabricado com matéria-prima virgem, conforme ilustrado na Figura 20 e dados exibidos na Tabela 22.

Tabela 22 - Pegada de CO₂ (em kg de CO₂), considerando primeira vida e potencial de fim de vida das garrafas de vidro, para diferentes tipos de descarte

Descarte	Pegada de carbono (kg de CO ₂)		
	Garrafa de 355 mL	Garrafa de 600 mL	Garrafa de 1000 mL
Aterro (matéria-prima virgem)	804	900	1018
Aterro (matéria-prima 50% reciclada)	774	867	980
Aterro (matéria-prima 90% reciclada)	751	840	950
Reciclagem	763	854	966
Reuso (30% eficiência)	103	109	118
Reuso (100% eficiência)	60	60	63

Figura 20 - Gráfico da pegada de CO₂ em kg para as diferentes disposições finais dos vasilhames de vidro



Fonte: o autor

Considerando a reciclagem como destinação final para as garrafas de vidro, todos os tamanhos de vasilhame apresentaram uma pegada de carbono total menor do que o total da primeira vida com destino ao aterro. Ou seja, a reciclagem aparece como uma alternativa que provoca menos impacto ambiental do que a destinação final aterro, mesmo que o produto que será reciclado seja feito com matéria-prima virgem e o produto destinado ao aterro tenha em sua composição 90% de material reciclado. Isso indica que a destinação dos vasilhames de vidro de cerveja tem um potencial de

impacto ambiental mais significativo do que o impacto ambiental de sua fabricação utilizando matéria-prima reciclada.

A utilização de maior quantidade de matéria-prima na fabricação dos vasilhames de maior volume (600 mL e 1000 mL) reflete diretamente na pegada de carbono, que aumenta com o acréscimo de massa dos produtos. Isto é, frascos maiores apresentam maior pegada de carbono para um mesmo volume de cerveja envasado, pois são mais pesados. É possível inferir que, caso as garrafas de vidro de 600 mL e de 1000 mL fossem fabricadas com destinação final de reciclagem ao invés de reuso, a massa de matéria-prima utilizada em sua fabricação seria menor do que a utilizada atualmente, pois os vasilhames não precisariam ter uma camada de vidro mais espessa já que não seriam submetidos repetidas vezes às etapas de transporte e limpeza da garrafa. Ou ainda, caso as garrafas de 355 mL fossem fabricadas considerando reuso como destinação final, uma quantidade maior de matéria-prima seria necessária, aumentando a pegada de carbono total. Como *software* CES EduPack considera o valor de massa de matéria-prima para calcular o valor de pegada de CO₂ das fases material e manufatura e considera o valor de material total (incluindo o líquido transportado) para calcular a fase transporte e uso, no limite, as garrafas de vidro com destinação final reciclagem, que fossem fabricadas com a intenção deste tipo de disposição, teriam valores mássicos de matéria-prima utilizados proporcionais à sua capacidade volumétrica, e, se assim fosse, a pegada de carbono para envasilhar um mesmo volume de cerveja seria igual.

O aumento da eficiência do processo de reuso das garrafas de vidro de 600 mL e de 1000 mL aumenta a representatividade da pegada de carbono na fase transporte. A emissão de CO₂ da fase transporte da garrafa de vidro reutilizável pode chegar até 41% do total de primeira vida, conforme Tabela 10. Comparativamente, a fase transporte para as disposições das garrafas em aterro ou para reciclagem representa apenas 3% do total de emissão de CO₂ no valor total de primeira vida.

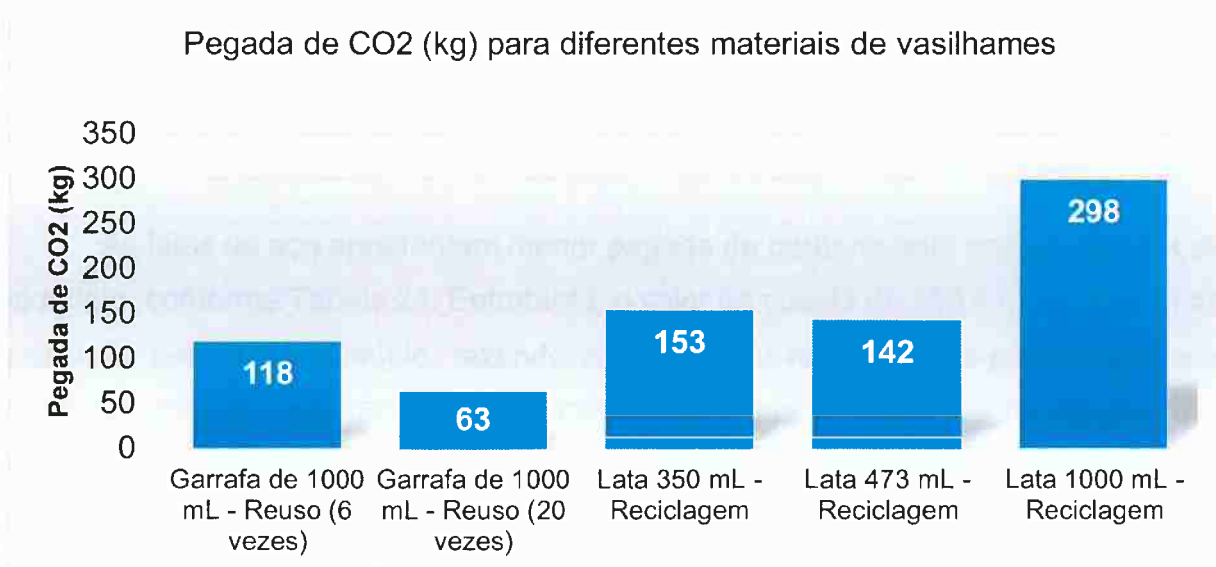
A pegada de carbono total das latinhas de alumínio tem um valor próximo ao valor da pegada de carbono total da garrafa de vidro reutilizada. As garrafas de vidro com disposição em aterro ou reciclagem provocam um impacto ambiental cerca de dez vezes maior do que a lata de alumínio. Os dados da pegada de carbono do vasilhame de alumínio estão exibidos na Tabela 23.

Tabela 23 - Pegada de CO₂ total (kg de CO₂) para latas de alumínio, sendo reciclagem a disposição final.

Vasilhame	Pegada de carbono total (kg de CO ₂)
Lata 269 ml	163
Lata 350 ml	153
Lata 473 ml	142
Lata 1000 ml	298

A Figura 21 apresenta uma análise comparativa entre as latas de alumínio de 350 mL, 473 mL e de 1000 mL e a garrafa de 1000 mL retornável com diferentes taxas de eficiência.

Figura 21 – Pegada de CO₂ para diferentes materiais de vasilhames



Fonte: o autor

De acordo com o gráfico da Figura 21, os vasilhames de vidro retornáveis têm uma pegada de carbono menor do que as latinhas de alumínio, mesmo que a eficiência do processo de reuso seja baixa.

Uma última análise foi feita para comparar a pegada de carbono entre latas de alumínio e latas de aço, considerando que as duas seriam recicladas no seu final de vida. As latas de aço de 350 mL são mais pesadas do que as latas de alumínio, já que

uma lata de aço pesa em torno de 18,6 g e uma lata de alumínio pesa em torno de 14,5 g (ARCELORMITTAL, 2017).

Tabela 24 – Pegada de CO₂ (kg de CO₂) para latas de aço e de alumínio

Fase	Lata de aço 350 mL		Lata de alumínio 350 mL	
	Pegada de Carbono (Kg)	Pegada de Carbono (%)	Pegada de Carbono (Kg)	Pegada de Carbono (%)
Material	190	75%	327	88%
Manufatura	46	18%	26	7%
Transporte	16	6%	16	4 %
Uso	0,02	0,0%	0,02	0,0%
Descarte	2,6	1%	2,03	1%
Total (primeira vida)	254	100,0%	370	100,0%
Potencial de fim de vida	-127	-50%	-217	-59%
Total (primeira vida + fim de vida) de CO₂	127	50%	153	41%

As latas de aço apresentam menor pegada de carbono total do que as latas de alumínio, conforme Tabela 24. Entretanto, o valor da sucata de aço é muito inferior ao preço da sucata de alumínio, fazendo com que seu recolhimento por sucateiros e cooperativas não seja tão atrativo, fazendo com que o índice de reciclagem das latinhas aço seja menor do que o índice da reciclagem das latinhas de alumínio no Brasil. Assim, não seria prudente considerar apenas a pegada de carbono total das latas como indicador de análise, pois o valor apresentado na Tabela 24 considera que as latas serão recicladas (ARCELORMITTAL, 2017).

6. CONCLUSÕES

- A ferramenta CES EduPack 2016 possui muitas simplificações em relação às Análises de Ciclo de Vida. No presente trabalho foi possível determinar, com base no indicador ambiental de pegada de carbono, que a fase crítica do ciclo de vida dos vasilhames de cerveja analisados é a fase material;
- A pegada de carbono total foi obtida a partir da soma do valor de CO₂ da primeira vida com o valor do potencial de fim de vida ("crédito de carbono"). As garrafas de vidro com destinação final em aterro apresentaram potencial de final de vida igual a zero;
- A reciclagem do produto é uma alternativa ambientalmente melhor do que o descarte em aterro, até mesmo considerando que o produto que será reciclado foi fabricado com matéria-prima virgem e o produto que será destinado ao aterro tenha sido fabricado com 90% de material reciclado. Isso indica que a preocupação com o descarte adequado dos vasilhames de vidro de cerveja deve ser maior do que com a utilização de matéria-prima reciclada para fabricação.
- Algumas empresas, como a AMBEV, vislumbram a redução de impacto ambiental e, para isso, instituem metas para aumentar a quantidade de matéria-prima reciclada na fabricação do vasilhame. A mudança de composição na fabricação do produto, utilizando matéria-prima virgem ou reciclada, reflete numa variação de pegada de carbono menor do que a variação observada entre os diferentes tipos de descarte que o vasilhame pode ter. Para que a redução do impacto ambiental seja mais relevante, o esforço dessas empresas deve ser também nas ações de logística reversa ou em alertas para os consumidores com relação à disposição do vasilhame de vidro;
- O aumento da capacidade volumétrica dos vasilhames de vidro reflete num acréscimo de pegada de carbono total, considerando um mesmo volume de cerveja envasado, pois as garrafas de vidro de tamanhos maiores são mais espessas e utilizam uma quantidade maior de matéria-prima. Ou seja, os frascos maiores são mais pesados e apresentaram maior pegada de carbono para um mesmo volume de cerveja envasado quando não há reuso do vasilhame;
- Para análise do processo de reuso de garrafas de vidro algumas simplificações foram adotadas neste estudo e os valores de pegada de carbono do processo de higienização da garrafa de vidro não foram considerados. Foi possível concluir que

o aumento da eficiência do processo de reuso das garrafas de vidro de 600 mL e de 1000 mL majora a representatividade da pegada de carbono da fase transporte do ciclo de vida do produto. O aumento da eficiência do reuso da garrafa também reduz a pegada de carbono total da garrafa de vidro;

- Para o processo de reuso ser eficaz é importante uma sinergia entre os produtores de cerveja, os distribuidores e os consumidores. Os produtores podem investir em divulgação dos benefícios de consumo de cerveja em vasilhames retornáveis, uma vez que são mais baratas para o consumidor e menos poluentes para o meio ambiente. Os distribuidores enfrentam problemas quanto ao armazenamento das garrafas vazias, até que a coleta para higienização e reabastecimento seja feita. Uma alternativa seria que os produtores fizessem o recolhimento de vasilhames com uma frequência maior. Os consumidores podem mudar seus hábitos de consumo, adotando as garrafas retornáveis e lembrando de fazer a troca do vasilhame nos locais adequados, ao invés de deixar a garrafa vazia em casa;
- O transporte é um grande empecilho para a reciclagem dos cacos de vidro, pois as fábricas vidreiras estão concentradas em alguns polos do país. O caco de vidro tem baixo valor agregado o que faz com que sua reciclagem seja pouco interessante do ponto de vista econômico. O caco de vidro poderia ser beneficiado em cooperativas, passando pelas etapas de separação e cominuição antes de ser levado para a fábrica de vidro. Esse beneficiamento aumentaria o valor agregado do caco de vidro, possibilitando que o custo do frete compensasse para distâncias maiores, aumentando o índice de reciclagem do vidro. O plano de uma rota de transporte que seja economicamente viável para a reciclagem do vidro deve ser elaborado pelo setor público em conjunto com as empresas privadas, a fim de seguir as diretrizes da PNRS;
- O aumento do índice de reciclagem do vidro deve visar o empoderamento social dos catadores, cooperativas e associações, possibilitando alcançar um estado de geração de renda e valor positivo para a sociedade, além da função de coleta estritamente;
- A utilização de aço como substituto do alumínio aparenta ser vantajosa do ponto de vista da redução de pegada de carbono, considerando que as latas serão recicladas no final de seu ciclo de vida. Entretanto, para que esse índice de redução de impacto ambiental fosse efetivamente comparável, os dois materiais

deveriam ter o mesmo índice de reciclagem, o que não acontece. O Brasil é destaque pelo índice de reciclagem das latinhas de alumínio para bebidas, mas o mesmo não acontece para latas de aço, que hoje são mais utilizadas para embalar comidas em geral. A sucata de aço tem menor valor agregado do que a sucata de alumínio e esse fator não incentiva a reciclagem do aço, fazendo com que parte de seu descarte seja feito em aterros, que tem um potencial de final de vida igual a zero;

- Os vasilhames de alumínio possuem diversas características positivas de destaque em relação a utilização das garrafas de vidro como maior resistência e menor massa no transporte do produto final. Além disso, a dificuldade da logística reversa dos vasilhames de vidro assim como o menor índice de reciclagem das latas de aço fazem com que as latinhas de alumínio ainda sejam os vasilhames mais sustentáveis para utilização no Brasil, devido ao seu elevado índice de reciclagem e seu baixo valor de pegada de carbono em relação ao vidro.

7. TRABALHOS FUTUROS

A fim de complementar os resultados e conclusões obtidos neste trabalho, sugere-se a realização de análises e estudos adicionais:

- Análises de Ciclo de Vida das garrafas de vidro reutilizáveis, considerando a etapa de higienização e reabastecimento;
- Análise da pegada de carbono da fase transporte da sucata de alumínio e do caco de vidro até as fábricas recicladoras;
- Análise da viabilização da fabricação de garrafas de vidro utilizando menos matéria-prima;
- Análise da reutilização de garrafas considerando o ponto de vista econômico da empresa;
- Análise do desenvolvimento de rotas de transporte que sejam viáveis, do ponto de vista econômico, a fim de aumentar o índice de reciclagem do vidro.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[ARCELLORMITAL] Blog ArcelorMittal. **Latas de aço para cervejas e refrigerantes**. 2017. Disponível em: <<http://blog.arcelormittal.com.br/latas-de-aco/>>. Acesso em: 29 nov. 2018.

AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.; LIMA, A.U. 2001 **Biotecnologia Industrial**. 4ª. Ed. São Paulo (SP): Edgard Blücher. P 91-143

[ABAL] Associação Brasileira do Alumínio. **Reciclagem no Brasil**. 2018. Disponível em: < <http://abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/reciclagem-no-brasil/> >. Acesso em: 03 nov. 2018

[ABAL] Associação Brasileira do Alumínio. **Relação entre Sucata Recuperada e Consumo Doméstico – 2015**. 2016. Disponível em: < <http://abal.org.br/estatisticas/nacionais/reciclagem/total-aluminio/> >. Acesso em: 03 nov. 2018

[ABIVIDRO] Associação Brasileira das Indústrias de Vidro. **Vidro no Brasil e sua Indústria**. 2018. Disponível em: < <https://www.abividro.org.br/abividro/vidro-no-brasil-e-sua-industria> >. Acesso em 05 out.2018

[ABRALATAS] Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio. **Institucional**. 2018. Disponível em: < <http://www.abralatas.org.br/> >. Acesso em: 02 nov. 2018

[ABRALATAS] Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio. **Movimentação do Mercado Cervejeiro**. 2017. Disponível em: < <http://www.abralatas.org.br/movimentacao-no-mercado-cervejeiro/> >. Acesso em: 02 nov. 2018

[ABRALATAS] Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio. **Números mundiais**. 2017. Disponível em: < <http://www.abralatas.org.br/numeros-mundiais/> >. Acesso em: 02 nov. 2018

[ABRALATAS] Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio. **Brasil: A importância da lata para a indústria do alumínio – 2016 (Em milhares de toneladas e em %)**. 2016. Disponível em: < <http://www.abralatas.org.br/grafico/brasil-a-importancia-da-lata-para-a-industria-do-aluminio-2012-previo-brasil-a-importancia-da-lata-para-a-industria-do-aluminio-2012-seguite-fonte/> >. Acesso em: 02 nov. 2018

[ABRALATAS] Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio. **Brasil continua líder mundial em reciclagem de latas de alumínio para bebidas**. 2009. Disponível em: < <http://www.abralatas.org.br/brasil-continua-lider-mundial-em-reciclagem-de-latas-de-aluminio-para-bebidas/> >. Acesso em: 02 nov. 2018

[ABRELPE] Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2017. Disponível em < <http://abrelpe.org.br/download-panorama-2017/> >. Acesso em: 04 nov. 2018

ALVARENGA, D. **Número de cervejarias no Brasil quase dobra em 3 anos e setor volta a criar empregos.** 2018. Disponível em: < <https://g1.globo.com/economia/pme/noticia/numero-de-cervejarias-no-brasil-quase-dobra-em-3-anos-e-setor-volta-criar-empregos.ghtml> >. Acesso em: 03 nov. 2018

[AKATU] INSTITUTO AKATU. **Pesquisa Akatu 2018 traça Panorama do Consumo Consciente no Brasil.** 2018. Disponível em: <<https://www.akatu.org.br/noticia/pesquisa-akatu-2018-traca-panorama-do-consumo-consciente-no-brasil/>>. Acesso em: 02 nov. 2018

[AMBEV] Cervejaria AMBEV. **Atitudes sustentáveis e economia.** 2018. Disponível em: < <https://www.ambev.com.br/sustentabilidade/residuo-zero-e-clima/> >. Acesso em: 07 set. 2018

ASHBY, M. F.; COULTER, P.; BALL, N.; BREM, C. **The CES EduPack Eco Audit Tool - A White Paper.** 2012.

ASHBY, M. **Materials Selection in Mechanical Design.** 3th edition. Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005.

ASHBY, M; CEBON, D., SHERCLIFF, H. **Materiais - Engenharia, Ciência, Processamento e Projeto** - tradução da 2ª Edição. p. 513-534. 2007

BREJAS. **História da Cerveja.** 2018. Disponível em: < <https://www.brejas.com.br/historia-cerveja.shtml> >. Acesso em: 05 out. 2018

Brasil. **Decreto n. 6871, de 4 de jun. de 2009.** Sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de bebidas.

[CEMPRE] Compromisso Empresarial para Reciclagem. **Artigos e Publicações – Fichas Técnicas: vidro.** 2016. Disponível em: < <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/6/vidro> >. Acesso em 05 out. 2018

[CEMIG] Companhia Energética de Minas Gerais. **Potência média de aparelhos comerciais e residenciais.** 2018. Disponível em: <<https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Cientes/Documents/POT%C3%8ANCIA%20M%C3%89DIA%20DE%20APARELHOS%20RESIDENCIAIS%20E%20COMERCIAIS.pdf>> Acesso em 17 out. 2018.

[CERVBRASIL] Associação Brasileira da Indústria da Cerveja. **Anuário 2016.** 2016. Disponível em: < http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/anuarios/CervBrasil-Anuario2016_WEB.pdf >. Acesso em 01 nov. 2018

[CERVBRASIL] Associação Brasileira da Indústria da Cerveja. **Anuário 2015.** 2015. Disponível em: <http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/anuarios/ANUARIO_CB_2015_WEB.pdf>. Acesso em 01 nov. 2018.

[CERVBRASIL] Associação Brasileira da Indústria da Cerveja. **Anuário 2014.** 2014. Disponível em: < http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/anuarios/anuariofinal2014.pdf >. Acesso em 01 nov. 2018.

COLTRO, L. **Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão**. Centro de Tecnologia de Embalagem. p. 33. Campinas. 2007

[CNDL] Confederação Nacional de Dirigentes Lojistas. **Notícias: Apenas 31% dos brasileiros são consumidores conscientes, revela pesquisa CNDL/SPC Brasil**. 2018. Disponível em: < <http://site.cndl.org.br/apenas-31-dos-brasileiros-sao-consumidores-conscientes-revela-pesquisa-cndlspc-brasil/> >. Acesso em: 01 nov. 2018.

CURRAN, M.A. **Life Cycle Assessments: Principles and Practice**. Scientific Applications International Corporation (SAIC). Ohio. 2006.

DEUS, R. M.; BATTISTELLE, R. A. G.; SILVA, G. H. R. **Resíduos sólidos no Brasil: contexto, lacunas e tendências**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 20, n. 4, p. 685-689, 2015. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522015000400685&lng=en&nrm=iso >. Acesso em: 18 nov. 2018.

GRANTA Material Intelligence. 2018. Disponível em: < <http://www.grantadesign.com/education/edupack/> >. Acesso em: 01 out. 2018.

GUINEE, J.B. **Handbook on Life Cycle Assessment**. 2004. New York: Kluwer Academic Publishers, 2004.

HOMINILUPULO. **História da cerveja: entenda como surgiu e o seu processo de evolução**. 2018. Disponível em: < <https://www.hominilupulo.com.br/cultura/historia-da-cerveja/> >. Acesso em: 04 nov. 2018.

[IBOPE] IBOPE Inteligência. **Desinformação é a maior dificuldade para reciclagem no Brasil**. 2018. Disponível em: <<http://www.ibopeinteligencia.com/noticias-e-pesquisas/desinformacao-e-maior-dificuldade-para-a-reciclagem-no-brasil/>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

[IBPT] Instituto Brasileiro de Planejamento e Tributação. **Folia dos tributos: itens consumidos no carnaval chegam a quase 80% de impostos**. 2017. Disponível em: < <https://ibpt.com.br/noticia/2565/Folia-dos-tributos-itens-consumidos-no-carnaval-chegam-a-quase-80-de-impostos> >. Acesso em 22 nov. 2018.

[IBICT] Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. **O que é SICV Brasil?**. 2018 Disponível em: < <http://acv.ibict.br/banco-nacional/o-que-e-sicv/> >. Acesso em: 21 nov. 2018.

JACOBI, P.R.; BESEN, G.R. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade**. Estudos avançados, v. 25, n. 71, p. 135-158, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142011000100010>. Acesso em: 03 nov. 2018

KOMATSU, A. **Ambev inaugura fábrica de embalagem de vidro**. 2018. Disponível em: < <https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,ambev-inaugura-fabrica-de-embalagem-de-vidro,158016> >. Acesso em: 22 nov. 2018

[LATASA] LATASA Reciclagem. **Processo de reciclagem**. 2018. Disponível em: <<https://www.latasa.ind.br/pt/institucional/processo-de-fabricacao>>. Acesso em: 16 nov. 2018.

MARCUSSO, E.F.; MULLER, C.V. **A cerveja no Brasil: o ministério da agricultura informando e esclarecendo**. Publicação do Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Vegetal (DIPOV). 2018.

MELO, L. **Garrafa retornável é a arma da Ambev para driblar a crise**. 2016. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/negocios/garrafa-retornavel-e-a-arma-ambev-para-driblar-a-crise/>>. Acesso em: 15 nov. 2018

MINDMINERS & ATKEARNEY. **Estudo original: consumo de cervejas**. 2018. Disponível em: <<https://mindminers.com/estudos/consumo-de-cerveja>>. Acesso em 04 nov. 2018

NBR ISO 14040. **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**. 2001. Disponível em: <<http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-14.040-Gest%C3%A3o-Ambiental-avaliac%C3%A3o-do-ciclo-de-vida-principios-e-estrutura.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2018

[PNRS] Brasil. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em 03 nov. 2018

[RECICLOTECA] Centro de informações sobre reciclagem e meio ambiente. **Vidro: história, composição, tipos, produção e reciclagem**. 2018. Disponível em: <<http://www.recicloteca.org.br/material-reciclavel/vidro/>>. Acesso em 16 nov. 2018

[SINIR] Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos. **Relatório técnico acordo setorial de embalagens em geral**. 2017. Disponível em: <<http://www.sinir.gov.br/component/content/article/63-logistica-reversa/130-acordo-setorial-para-implementacao-de-sistema-de-logistica-reversa-de-embalagens-em-geral>>. Acesso em: 03 nov. 2018

[SINDICERV] Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja. **História da cerveja**. 2018. Disponível em <<https://sindicerv.com.br/historia-da-cerveja/>>. Acesso em: 05 out. 2018

SEO, E.S.M., KULAY, L. A. **Avaliação do ciclo de vida: Ferramenta gerencial para tomada de decisão**. InterfacEHS. Revista de gestão integrada em saúde do trabalho e meio ambiente, 2006

[VIDROPORTO] VIDROPORTO Embalagens. **Benefícios do vidro**. 2018. Disponível em: <<http://www.vidroporto.com.br/beneficios-do-vidro.php>>. Acesso em: 07 out. 2018