

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

OKSANA KUCZYNSKI

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO COPO PLÁSTICO
REUTILIZÁVEL ADOTADO NA UTFPR CÂMPUS PONTA GROSSA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2018

OKSANA KUCZYNSKI

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO COPO PLÁSTICO
REUTILIZÁVEL ADOTADO NA UTFPR CÂMPUS PONTA GROSSA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, do Departamento de Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Fabio Neves Puglieri

PONTA GROSSA

2018



Ministério da Educação
**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO
PARANÁ**
CÂMPUS PONTA GROSSA
Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção



TERMO DE APROVAÇÃO DE TCC

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO COPO PLÁSTICO REUTILIZÁVEL ADOTADO
NA UTFPR CÂMPUS PONTA GROSSA**

por

Oksana Kuczynski

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 02 de julho de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Profa. Dr. Fabio Neves Puglieri

Prof. Orientador

Prof. Dr. Cassiano Moro Piekarski

Membro titular

Prof. Dr. Daniel Poletto Tesser

Membro titular

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”.

Aos meus primeiros professores, meus pais.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador deste trabalho, professor Dr. Fabio Neves Puglieri, por todo o conhecimento compartilhado, confiança e apoio.

À UTFPR, especialmente aos seus professores e servidores, que fizeram parte de minha trajetória e que de alguma forma contribuíram para minha formação e desenvolvimento.

Ao professor Dr. Antônio Carlos de Francisco, por despertar meu interesse pelo caminho do desenvolvimento sustentável.

Ao Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, por todo o aprendizado em Avaliação do Ciclo de Vida, que foi de grande importância para escolha do tema e a realização deste trabalho.

Ao Laboratório de Estudos em Sistemas Produtivos Sustentáveis (LESP) e seus membros, por disponibilizarem recursos essenciais para o andamento do estudo. Especialmente ao aluno de mestrado Murillo Vetroni Barros, por todo o auxílio com o *software* Umberto.

Aos meus pais, Mariluz Kuczynski e Rosteslau Kuczynski, pelo incentivo constante e ensinamentos ao longo da vida.

Ao companheiro de todas as horas, José Luis Bubniak, pela serenidade, compreensão e ajuda.

A Deus, por me conceder saúde, iluminação e persistência.

RESUMO

KUCZYNSKI, Oksana. **Avaliação do Ciclo de Vida do copo plástico reutilizável adotado na UTFPR câmpus Ponta Grossa**. 2018. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

É crescente a preocupação em incorporar o desenvolvimento sustentável nos processos produtivos, produtos e serviços. Essa preocupação também se faz presente nas Instituições de Ensino Superior (IES), as quais são responsáveis por inúmeros aspectos ambientais. De modo a buscar a sustentabilidade em sua gestão e operações, as IES podem adotar diversas práticas e ferramentas, sendo a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) uma delas. Neste trabalho, a técnica da ACV foi utilizada para avaliar o desempenho ambiental dos copos plásticos reutilizáveis adotados no restaurante universitário da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Ponta Grossa. A metodologia aplicada consiste na revisão de literatura sobre os temas sustentabilidade em IES e Avaliação do Ciclo de Vida, seguida da realização do estudo de ACV, baseado nas normas ISO 14040 e ISO 14044. Definiu-se a unidade funcional como 800 utilizações do copo plástico reutilizável por um aluno regular na UTFPR, lavando o copo com 1,73 litros de água e 0,36 mililitros de detergente neutro após cada utilização e o fluxo de referência foi calculado para um copo. Os copos plásticos foram avaliados com auxílio do *software* Umberto NXT Universal, por meio das categorias de impacto potencial de aquecimento global, potencial de eutrofização e esgotamento de recursos usando respectivamente os métodos IPCC 2013, CML 2001 e ILCD 2016. Para as três categorias avaliadas, os resultados obtidos demonstram que a etapa do ciclo de vida de maior impacto é a produção de matérias-primas, devido principalmente aos processos de produção de sabão e tratamento de água. Já a etapa de uso é a segunda que mais contribui para os impactos no ciclo de vida, em decorrência do processo de tratamento de água residual. Com a identificação dos processos que mais contribuem gerando impactos negativos, foram propostas sugestões de melhorias ambientais para os tomadores de decisão da UTFPR, visando a redução desses impactos.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Copos plásticos reutilizáveis. Sustentabilidade em universidades.

ABSTRACT

KUCZYNSKI, Oksana. **Life Cycle Assessment of reusable plastic cup adopted at UTFPR campus Ponta Grossa**. 2018. 83 p. Work of Conclusion Course (Graduation in Industrial Engineering) - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2018.

There is a growing concern about incorporating sustainable development into production processes, products and services. This concern is also present in Higher Education Institutions (HEIs), which are responsible for many environmental aspects. In order to incorporate sustainability in its management and operations, HEIs can use several practices and tools, and Life Cycle Assessment (LCA) is one of them. In this work, the LCA tool was used to evaluate the environmental performance of the reusable plastic cups adopted in the university restaurant of the Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Ponta Grossa campus. The applied methodology consists on the review of the literature on sustainability in HEI and Life Cycle Assessment, followed by the LCA study, based on the ISO 14040 and ISO 14044 standards. The functional unit was defined as 800 uses of the reusable plastic cup by a regular student in UTFPR, washing it with 1.73 liters of water and 0.36 milliliters of neutral detergent after each use and the reference flow was calculated for one cup. The plastic cups were evaluated using the software Umberto NXT Universal, through the impact categories of potential global warming, eutrophication potential and resource depletion, using respectively the IPCC 2013, CML 2001 and ILCD 2016 methods. For the three evaluated categories, the obtained results demonstrate that the production of raw materials is the stage of the life cycle with the greatest impact, mainly due to the processes of soap production and water treatment. The use stage is the second stage that contributes the most to the impacts in the life cycle, due to the wastewater treatment process. With the identification of the processes that contribute the most to generate negative impacts, suggestions for environmental improvements were proposed for UTFPR decision makers, aiming to reduce these impacts.

Keywords: Life Cycle Assessment (LCA). Reusable plastic cups. Sustainability in universities.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estágios do ciclo de vida de um produto	24
Figura 2 – Estrutura de uma ACV	34
Figura 3 – Fases da ACV	34
Figura 4 – Processo elementar	36
Figura 5 – Procedimentos para análise de inventário	38
Figura 6 – Modelo geral de avaliação de impactos na ACV	43
Figura 7 – Etapas gerais da metodologia	47
Figura 8 – Modelo de copo plástico avaliado no estudo.....	51
Figura 9 – Sistema de produto e fronteira	53
Figura 10 – Fluxograma obtido a partir do <i>software</i> Umberto do copo plástico	59
Figura 11 – Diagrama de Sankey para fluxo de material do copo plástico.....	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – <i>Softwares</i> de apoio à ACV	46
Quadro 2 – Métodos de AICV e categorias de impacto avaliadas	49
Quadro 3 – Inventário do processo de produção dos copos plásticos	56
Quadro 4 – Inventário do processo de embalagem dos copos plásticos	57
Quadro 5 – Inventário do processo de distribuição dos copos plásticos	57
Quadro 6 – Inventário do processo de uso dos copos plásticos	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Potencial de aquecimento global por etapa do ciclo de vida	60
Gráfico 2 – Impacto relativo das principais substâncias pelo IPCC 2013.....	61
Gráfico 3 – Potencial de eutrofização por etapa do ciclo de vida.....	63
Gráfico 4 – Impacto relativo das principais substâncias pelo CML 2001.....	64
Gráfico 5 – Esgotamento de recursos por etapa do ciclo de vida	65
Gráfico 6 – Impacto relativo das principais substâncias pelo ILCD 2016	66

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida
A3P	Agenda Ambiental na Administração Pública
CFC	Clorofluorcarbono
CML	<i>Center of Environmental Science</i>
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
IES	Instituição de Ensino Superior
ILCD	<i>International Reference Life Cycle Data System</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
JRC	<i>Joint Research Centre</i>
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>
LCI	Inventário do Ciclo de Vida
LCIA	Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida
LCM	Gerenciamento do Ciclo de Vida
MRI	<i>Midwest Research Initiative</i>
PBACV	Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PP	Polipropileno
PR	Paraná
RU	Restaurante Universitário
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
TC	Comitê Técnico
UASB	Cobertura de Lodo Anaeróbico de Fluxo Ascendente
UEFS	Universidade Estadual de Feira de Santana
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UnB	Universidade de Brasília
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE ACRÔNIMOS

EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
GANNA	Grupo de Apoio à Normalização Ambiental
Ibict	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LESP	Laboratório de Estudos em Sistemas Produtivos Sustentáveis
ONG	Organização Não Governamental
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
REPA	<i>Resource and Environmental Profile Analysis</i>
SETAC	<i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>
UFOPA	Universidade Federal do Oeste do Pará
UFPeI	Universidade Federal de Pelotas
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>
UNESP	Universidade Estadual Paulista
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UNIFAL	Universidade Federal de Alfenas
UNISC	Universidade de Santa Cruz do Sul
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 PROBLEMA	15
1.2 JUSTIFICATIVA	16
1.3 OBJETIVO GERAL	18
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.5 DELIMITAÇÃO DO TEMA	18
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	20
2.1 SUSTENTABILIDADE EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR	20
2.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)	24
2.2.1 Conceitos Gerais	24
2.2.2 Histórico da ACV	25
2.2.3 Usos e Aplicações	28
2.2.4 Limitações	30
2.2.5 ACV e as Normas ISO	31
2.2.6 Fases da ACV	33
2.2.6.1 Definição do objetivo e escopo	35
2.2.6.2 Análise do inventário do ciclo de vida (ICV)	37
2.2.6.3 Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)	40
2.2.6.4 Interpretação	43
2.2.7 Softwares para Apoio à ACV	45
3 METODOLOGIA	47
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	47
3.2 MÉTODO DE EXECUÇÃO	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO	51
4.2 ANÁLISE DE INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA	56
4.3 AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO CICLO DE VIDA	58
4.3.1 Potencial de Aquecimento Global	60
4.3.2 Potencial de Eutrofização	62
4.3.3 Esgotamento de Recursos	65
4.3.4 Diagrama Sankey	66
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
REFERÊNCIAS	73
APÊNDICE A - Descrição dos processos incluídos no sistema de acordo com a base de dados Ecoinvent 3.3.	80

1 INTRODUÇÃO

O conceito de sustentabilidade é amplamente utilizado na atualidade, pelos governos, pelas empresas, pelos meios de comunicação. Suas origens datam de meados do século XVI, mas o termo só ganhou notoriedade quando a questão ambiental passou a ser objeto de diversas conferências e relatórios publicados a partir da década de 1970.

Um desses relatórios, intitulado “Nosso Futuro Comum”, também conhecido como Relatório Brundtland, estabeleceu o conceito de desenvolvimento sustentável em 1987, o qual é definido como “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades” (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1991, p. 46).

Em 1990, John Elkington apresentou o conceito de *Triple Bottom Line*, definindo que para ser sustentável, o desenvolvimento deve ser economicamente viável, ambientalmente correto e socialmente justo. Esse conceito se destina a promover a sustentabilidade nas práticas de negócios, fazendo com que o foco das empresas seja estendido além dos lucros para incluir questões sociais e ambientais (BOFF, 2012, p. 43).

Assim, as empresas foram induzidas a um processo de evolução conforme aumentavam as pressões, sobretudo no quesito ambiental. Hoffman (2000, p. 14) apresenta essa evolução no contexto da indústria americana através de quatro períodos: ambientalismo industrial, ambientalismo regulatório, ambientalismo como responsabilidade social e ambientalismo estratégico.

Barbieri (2008, p. 103) também discorre sobre esse processo evolutivo que ocorreu a partir da década de 1970. Para o autor, três abordagens distintas foram desenvolvidas nas empresas, de acordo com sua atuação em relação às questões ambientais: o controle da poluição, a prevenção da poluição e a estratégia.

De caráter reativo, o controle da poluição consiste em ações poucas articuladas com foco em minimizar os impactos da poluição já gerada, não atuando sobre as causas. Essas ações podem contar com tecnologias de remediação e tecnologias de controle de fim-de-tubo, visam cumprir a legislação e são encaradas como um custo necessário ao fazer negócios (BARBIERI, 2008, p. 104).

Já na abordagem de prevenção da poluição, a empresa passa a rever seus produtos e processos e adotar práticas para reduzir a poluição na fonte, reutilizar, reciclar e recuperar energia, o que ocasiona um aumento da produtividade. Tais práticas consistem em padronização, redesenho dos produtos, ajustes de layout, gestão de estoques e manutenção preventiva (BARBIERI, 2008, p. 107).

Por fim, a empresa passa a considerar temas ambientais como estratégicos, seja minimizando problemas que comprometam a competitividade, seja identificando oportunidades de mercado para diferenciar, inovar e gerar vantagem competitiva (BARBIERI, 2008, p. 114).

Deste modo, fica evidente que a gestão ambiental vem adquirindo mais espaço no meio empresarial. Porém, esse desenvolvimento da consciência ecológica também se faz presente em outros setores da sociedade, incluindo o setor da educação, como por exemplo, nas Instituições de Ensino Superior (IES) (TAUCHEN; BRANDLI, 2006, p. 503).

Pelo fato de essas instituições também envolverem diversos aspectos ambientais, passou-se a exigir delas uma nova postura. Assim, durante a última década, um número crescente de IES tem se comprometido em incorporar e institucionalizar a sustentabilidade em seus currículos, pesquisas, operações, divulgação, avaliação e relatórios (LOZANO, 2011, p. 67).

Entretanto, as IES muitas vezes ficam restritas à incorporação da sustentabilidade na educação e na pesquisa, deixando de exercer o importante papel de ser referência para a sociedade. Para Almeida (2015, p. 44), “o câmpus universitário deve ser um espaço, um laboratório vivo, que deve ser utilizado como referência para os processos de sensibilização, conhecimento e práticas sustentáveis”.

Como forma de buscar a sustentabilidade em sua gestão e nos seus espaços físicos, a IES pode adotar diversas práticas e ferramentas, das quais podem ser citadas: a implantação de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA), a aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), o consumo consciente de recursos (e.g. água e energia), construções sustentáveis, compras verdes, o gerenciamento de resíduos sólidos e programas de transporte alternativo (LO-IACONO-FERREIRA; TORREGROSA-LÓPEZ; CAPUZ-RIZO, 2016; LOZANO, 2011; SAAVEDRA et al., 2015; TAUCHEN; BRANDLI, 2006).

Tauchen e Brandli (2006, p. 503) consideram que as IES podem e devem utilizar seu papel de destaque no desenvolvimento tecnológico, na preparação de estudantes e na disseminação de informações e conhecimento para propiciar o desenvolvimento de uma sociedade mais sustentável e justa. Para isso é indispensável que essas instituições incorporem princípios e práticas de sustentabilidade em todos os seus processos e nas tomadas de decisões a respeito de planejamento, treinamento, operações ou atividades habituais em seus espaços.

Uma técnica que pode ser utilizada para incentivar práticas sustentáveis e auxiliar no processo decisório é a ACV. Tal técnica será utilizada neste estudo para avaliar o desempenho ambiental dos copos plásticos reutilizáveis adotados pela UTFPR câmpus Ponta Grossa, que substituíram os copos plásticos descartáveis utilizados até março de 2018.

1.1 PROBLEMA

Ainda que não estejam classificadas entre as atividades reconhecidas como altamente poluidoras pela legislação, é notável que as IES são responsáveis por diversos aspectos ambientais, pois ocorre o consumo de energia, recursos renováveis e não-renováveis, elevada geração de resíduos sólidos e efluentes, manipulação de reagentes químicos, geração de emissões atmosféricas, promoção de adensamentos demográficos e aumento do uso de veículos de transporte particular, causando impactos socioambientais positivos e negativos (CÓFFANI-NUNES, 2012, p. 55).

Segundo Saavedra et al. (2015, p. 273), as atividades realizadas nas IES são geradoras de diversos tipos de resíduos, tais como resíduos recicláveis (papéis, plásticos, metais), cartuchos de impressora, eletrônicos, resíduos de construção civil, lâmpadas fluorescentes, resíduos químicos, resíduos não-recicláveis, etc. Sendo o gerenciamento de resíduos uma das preocupações das IES, é imprescindível a utilização de ferramentas e práticas de gestão para minimizar a sua geração e buscar alternativas de disposição final.

Na tentativa de minimizar a geração de resíduos recicláveis, uma das ações promovidas pela UTFPR câmpus Ponta Grossa foi eliminar a utilização de copos

plásticos descartáveis no restaurante universitário (RU) e fornecer copos plásticos reutilizáveis para toda a comunidade acadêmica.

Dentro desse contexto, definiu-se o seguinte problema de pesquisa: Qual o desempenho ambiental do copo plástico reutilizável adotado pela UTFPR câmpus Ponta Grossa ao longo de seu ciclo de vida?

1.2 JUSTIFICATIVA

De forma semelhante às empresas, as instituições de ensino também apresentam diversos aspectos ambientais decorrentes de suas atividades diárias, porém, apenas recentemente começaram a ser cobradas quanto a sua responsabilidade socioambiental (BRITO, 2015, p. 78). Segundo Almeida (2015, p. 42), a responsabilidade das IES não deve estar limitada à educação e à pesquisa, elas precisam ser exemplo para a comunidade interna e externa. Espera-se que as IES coloquem em prática aquilo que ensinam.

A Constituição Federal de 1988, no inciso VI do artigo 225, “prevê a promoção da educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente” (ALMEIDA, 2015, p. 53). Há, além disso, legislações que preveem que órgãos públicos, incluindo as instituições de ensino, pratiquem ações sustentáveis:

- Lei nº 9.795/1999 – Institui a Política Nacional de Educação Ambiental (ALMEIDA, 2015, p. 53);
- Decreto nº 5.940/2006 – Instaura a obrigatoriedade de separação dos resíduos recicláveis dos órgãos e entidades da administração pública federal e sua destinação para as cooperativas de catadores de materiais recicláveis;
- Lei nº 12.349/2010 – Promove o desenvolvimento nacional sustentável por meio de licitações;
- Lei 12.305/2010 – Dispõe a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e estabelece prioridades nas compras e contratações governamentais de produtos reciclados e recicláveis, além de bens, serviços e obras que atendam a critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis;

- Decreto nº 7.746/2012 – Determina a adoção de iniciativas referentes à sustentabilidade, por exemplo, a Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P), pelos órgãos e entidades federais assim como suas vinculadas (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2017).

O Ministério da Educação também instituiu através da Resolução nº 2 de 15 de junho de 2012, as diretrizes curriculares nacionais para a Educação Ambiental. Essa resolução orienta as IES a promoverem sua gestão e suas ações de ensino, investigação e extensão, seguindo os objetivos e princípios da Educação Ambiental. Esse documento também estimula a construção de instituições de ensino como lugares educadores sustentáveis, unindo proposta curricular, gestão democrática e edificações, tornando-as assim modelos de sustentabilidade socioambiental (ALMEIDA, 2015, p. 40).

Como a PNRS estabelece entre os seus objetivos a não geração e redução de resíduos sólidos e também o estímulo ao consumo sustentável, muitas organizações e instituições de ensino vêm promovendo a troca de copos plásticos descartáveis, através de campanhas que incentivam que cada indivíduo use a sua própria caneca ou copo durável.

Após a realização de um levantamento, foi possível identificar diversas instituições que já promovem ações voltadas à redução ou substituição total dos copos descartáveis ao longo dos últimos anos, dentre as quais: Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) em 2010; Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) em 2010; Universidade Estadual Paulista (UNESP) câmpus Jaboticabal em 2011; Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (USP) em 2012; Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) em 2013; UTFPR câmpus Londrina, em 2013; Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL) em 2013; e Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) em 2014.

Em decorrência dos frequentes debates sobre o tema na comunidade acadêmica e visando incorporar práticas sustentáveis, a UTFPR câmpus Ponta Grossa também optou por suspender o uso dos copos plásticos descartáveis em seu RU a partir de março de 2018, quando foi realizada a substituição total por copos plásticos reutilizáveis.

Assim, este estudo se mostra relevante, pois pretende fornecer informações sobre os impactos potenciais ao longo de todo o ciclo de vida do produto recém-

adotado, para amparar tomadas de decisões posteriores. Os resultados deste trabalho também possibilitam o desenvolvimento de estudos futuros, que realizem comparações ambientais com outros tipos de recipientes de mesma função, feitos com materiais alternativos, visando eleger o produto que apresente o melhor desempenho ambiental para ser utilizado na instituição.

1.3 OBJETIVO GERAL

De forma a responder ao problema de pesquisa, o objetivo geral deste trabalho é avaliar o ciclo de vida do copo plástico reutilizável adotado no RU da UTFPR câmpus Ponta Grossa, utilizando a técnica da ACV.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Com o propósito de atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- Fazer uma revisão bibliográfica sobre os temas sustentabilidade em IES e Avaliação do Ciclo de Vida;
- Determinar as etapas e processos do ciclo de vida do copo plástico reutilizável responsáveis pelos maiores impactos ambientais;
- Identificar oportunidades de melhorias ambientais no ciclo de vida do copo plástico reutilizável.

1.5 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Conforme os objetivos listados, esta pesquisa está delimitada em dois temas centrais, a sustentabilidade em IES e a ACV. A aplicação do estudo ocorreu no RU da UTFPR câmpus Ponta Grossa e o produto avaliado foi o copo plástico reutilizável desenvolvido pela própria universidade.

Pode-se citar também que parte dos dados utilizados no estudo são secundários, provenientes da literatura e do banco de dados Ecoinvent 3.3, com a intenção de poupar tempo e recursos em sua coleta.

Além disso, é válido ressaltar que para uma IES ser intitulada sustentável, um conjunto de ações integradas se mostra necessário, sendo este estudo de ACV apenas uma das ações relacionadas ao pilar ambiental e que visa avaliar o desempenho ambiental de um único produto adotado pelo câmpus.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para abordar o tema exposto e os objetivos listados, este trabalho foi estruturado em 5 capítulos.

O capítulo 1 apresenta uma contextualização sobre o assunto, traz o problema de pesquisa, a justificativa, os objetivos do estudo e a delimitação do tema.

O capítulo 2 traz uma revisão bibliográfica sobre os assuntos sustentabilidade em IES e ACV.

O capítulo 3 apresenta os procedimentos metodológicos utilizados no desenvolvimento da pesquisa.

No capítulo 4 é realizado o estudo de ACV, o qual encontra-se dividido em quatro fases.

E por fim, o capítulo 5 traz as conclusões da pesquisa.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1 SUSTENTABILIDADE EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR

Embora as discussões ambientais geralmente se associem ao setor produtivo, outros setores da sociedade também têm sua parcela de responsabilidade quanto aos impactos negativos causados ao meio ambiente (BRITO, 2015, p. 78). Essas responsabilidades estão ficando cada vez mais claras através da abordagem do pensamento do ciclo de vida, que exige uma visão holística para avaliar o desempenho ambiental de produtos ou serviços. Estudos mostram que o setor de serviços, por exemplo, apresenta consumo significativo de material e energia (GAIDAJIS; ANGELAKOGLU, 2011, p. 1639).

Integrantes do setor de serviços, as IES, mesmo não estando entre as atividades reconhecidas como altamente poluidoras, são diretamente responsáveis por diversos impactos ambientais negativos. Além do alto consumo de materiais e energia, também geram uma quantidade considerável de resíduos sólidos e efluentes, produzem emissões atmosféricas (incluindo gases de efeito estufa), manipulam reagente químicos, fomentam adensamentos geográficos, ocasionam o uso de veículos de transporte particular ou coletivo e impactam nos fluxos humanos alterando a paisagem rural ou urbana (CÓFFANI-NUNES, 2012, p. 50).

Tauchen e Brandli (2006, p. 505), compararam as IES com pequenos núcleos urbanos, pois além das atividades de ensino, pesquisa e extensão, envolvem também atividades relacionadas à operação do câmpus, por meio de restaurantes, alojamentos, estacionamentos, centros de conveniência e outras facilidades. Além disso, necessitam de infraestrutura básica, como redes de abastecimento de água e energia, redes de saneamento e vias de acesso. Assim, em decorrência de suas atividades, apresentam numerosos aspectos ambientais, porém, apenas recentemente a responsabilidade ambiental e social das IES passou a ser exigida.

Há mais de quatro décadas, vários documentos internacionais vêm buscando o real comprometimento das IES com a sustentabilidade. Segundo Marinho (2014, p.17), “a ênfase e o grau de detalhamento desse comprometimento

foram consolidados e ampliados ao longo desse tempo. Defende-se que a sustentabilidade deve estar incorporada a todas as ações das IES”.

Embora tenha sido encontrada evidência de um interesse pelas dimensões globais das questões ambientais já nos anos 1970, a consciência específica dessas questões no contexto do ensino superior só se dá no início de 1990 (ANDERBERG; NORDÉN; HANSSON, 2009, p. 369). Isso principalmente após a Agenda 21 ter sido aprovada durante a Conferência Rio 92, a qual inclui um capítulo completo que aborda a introdução da perspectiva do desenvolvimento sustentável nas instituições de ensino (ALMEIDA, 2015, p. 37).

Segundo Tauchen e Brandli (2006, p. 504), o papel das IES quanto ao desenvolvimento sustentável pode ser dividido em duas correntes de pensamento. A primeira aponta a questão educacional, de forma que as IES contribuam por meio da formação dos futuros tomadores de decisão, para que estes incluam a preocupação com as questões ambientais em suas práticas profissionais. A segunda corrente ressalta a postura e as ações das IES, que devem atuar como modelos e exemplos práticos de gestão sustentável à sociedade.

A educação ambiental pretende desenvolver uma compreensão integrada do meio ambiente, envolvendo os aspectos ecológicos, sociais, econômicos, culturais, legais, científicos, psicológicos, políticos e éticos. Assim, o processo educativo precisa ser contínuo e permanente, incorporando a dimensão ambiental de modo interdisciplinar, tendo como objetivo a construção ou reconstrução de valores e a mudança de atitudes, buscando a formação de cidadãos com capacidade crítica e consciência do importante papel que devem desempenhar para assegurar a proteção do meio ambiente (BRITO, 2015, p. 86).

Entretanto, a função da educação superior no debate sobre sustentabilidade transcende a relação ensino/aprendizagem presente em sala de aula, ela também abrange projetos extracurriculares que envolvam toda a comunidade, a fim de oferecer soluções efetivas para a população. Ainda que possua papel decisivo ao promover a consciência socioambiental sustentável, a educação sozinha não é capaz de implementar a sustentabilidade, pois é necessário que ações concretas sejam tomadas em conjunto. Dessa forma, as IES devem funcionar como exemplos de gestão sustentável para a sociedade, de modo a colocar em prática o que ensinam e influenciar com resultados as organizações das quais seus alunos farão

parte, procurando construir um desenvolvimento justo e sustentável (LARA, 2012, p. 1647).

Na visão de Ralph e Stubbs (2013, p. 73), uma universidade que tem a sustentabilidade globalmente integrada apresenta as seguintes características:

- Liderança e visão que expressem compromisso e promovam a sustentabilidade;
- Incorporação dos conceitos e práticas de sustentabilidade nos processos de ensino e pesquisa de todas as disciplinas acadêmicas;
- Ênfase na promoção do ensino e pesquisa interdisciplinares e transdisciplinares necessários para fornecer soluções para desafios de sustentabilidade;
- Reconhecimento da pegada ecológica da instituição, em conjunto com políticas e práticas sustentáveis em operações, suporte e serviços que a minimizem;
- Envolvimento em atividades comunitárias que melhoram a sustentabilidade ambiental.

Durante a última década, houve um aumento no número de IES que começaram a incluir a sustentabilidade em seus currículos, pesquisas, operações, divulgação, avaliação e relatórios (LOZANO, 2011, p. 67). No que diz respeito às operações, as universidades estão adotando diversas práticas relacionadas à integração da sustentabilidade em sua gestão e nos seus espaços físicos.

Entre as práticas que passaram a ser adotadas pode-se citar a implementação de SGA, aplicada, por exemplo, pela Universidade de Mälardalen na Suécia, Universidade da Organização das Nações Unidas em Tóquio, Universidade do Missouri em Rolla nos Estados Unidos, Universidade de Zittau/Görlitz na Alemanha e Universidade do Vale do Rio dos Sinos no Brasil (UNISINOS), as quais inclusive são certificadas de acordo com a norma ISO 14001/2004 (BRITO, 2015, p. 81).

Ainda conforme Brito (2015, p. 82), a gestão de resíduos é outra ação que foi adotada por diversas IES, como a Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), USP, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Universidade Federal de Pelotas (UFPel).

A Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da USP também desenvolveu diversas iniciativas no câmpus por meio do programa intitulado “EESC Sustentável”, dentre as quais podem ser citadas ações em pesquisa e inovação, gestão ambiental e resíduos sólidos, indicadores de sustentabilidade, construções, compras e mobilidade sustentáveis, atividades comunitárias, e informação e comunicação para a comunidade (SAAVEDRA et al., 2015).

Uma das formas usadas para comunicar as ações adotadas são os relatórios de sustentabilidade, os quais foram utilizados por Lozano (2011) para avaliar o desempenho socioambiental de algumas universidades. Este descobriu que quanto ao aspecto ambiental, as universidades parecem fazer um bom trabalho na operação de seus câmpus, principalmente quando se concentram no uso de materiais e reciclagem, energia, água, transporte, emissões, efluentes e resíduos. No entanto, ainda há trabalho a ser feito quanto a biodiversidade, fornecedores (por exemplo, na compra), produtos e serviços, e indicadores de conformidade. Para a dimensão social, dá-se ênfase aos indicadores nas categorias de práticas de trabalho e de trabalho digno, enquanto poderia ser dada mais ênfase ao relato explícito dos esforços e atividades que contribuem para as categorias de direitos humanos e sociedade (LOZANO, 2011, p. 74).

Cóffani-Nunes (2012, p. 59) cita outras pesquisas desenvolvidas sobre a gestão de câmpus universitários como esforços para projetar edificações com consumo nulo de energia, modelos de gestão de câmpus objetivando alcançar nível de resíduos zero, diminuição de transportes individuais, análise do impacto e desempenho ambiental de uma faculdade usando a abordagem do ciclo de vida, e análise do desempenho ambiental de uma universidade através do impacto ambiental dos produtos consumidos ou publicados por ela utilizando a ACV como técnica para apoiar na tomada de decisão.

Dentre as técnicas que podem ou estão sendo utilizadas por IES, a ACV se mostra um instrumento útil na análise do desempenho ambiental e no processo de tomada de decisão, como mostram as pesquisas referidas por Cóffani-Nunes (2012, p. 60).

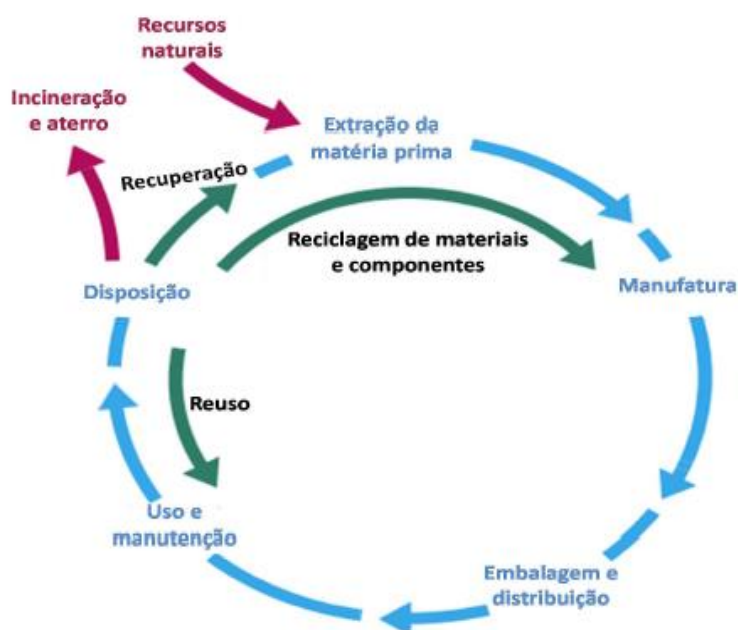
2.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

2.2.1 Conceitos Gerais

Com o aumento da consciência ambiental, passou a existir a necessidade de as empresas avaliarem como suas atividades afetam o meio ambiente. O desempenho ambiental de produtos e processos tornou-se uma questão fundamental, motivo pelo qual as empresas estão buscando formas de minimizar seus efeitos sobre o meio ambiente. Com objetivo de melhorar o desempenho ambiental, diversas ferramentas foram desenvolvidas. A ACV é uma dessas ferramentas, a qual considera todo o ciclo de vida de um produto e é uma abordagem "do berço ao túmulo" para a avaliação de sistemas industriais (EPA, 2006, p. 1).

Ainda de acordo com a EPA (2006, p. 1), o termo ciclo de vida se refere ao conjunto de todas as etapas no percurso da vida do produto, as quais incluem a aquisição de matéria-prima, sua produção, utilização, manutenção e descarte, seja por meio de reutilização, reciclagem ou disposição final, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Estágios do ciclo de vida de um produto



Fonte: adaptado de UNEP (2007, p. 12).

A visão de ciclo de vida surgiu como uma opção à visão convencional, que enxergava os problemas ambientais com foco apenas no processo produtivo, geralmente no estágio de manufatura dos produtos (SILVA, 2012, p. 31).

Assim, Chehebe (2002, p. 10) cita que a ACV é um instrumento que permite avaliar os aspectos ambientais e os impactos potenciais de um produto ou atividade, compreendendo todas as etapas do ciclo de vida, desde a extração de recursos naturais até o uso e a disposição final do produto.

A norma ISO 14040 define a ACV como uma técnica que faz uma “compilação e avaliação das entradas, das saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo de seu ciclo de vida” (ABNT, 2009a, p. 2). As entradas incluem a determinação do gasto de materiais e energia, e as saídas incluem os fluxos de produtos e coprodutos, emissões para o ar, descargas para a água, resíduos sólidos, perdas de energia e outros (ABNT, 2009a, p. 2).

A ACV permite que a empresa entenda melhor os efeitos ambientais totais e também identifique quais etapas do ciclo de vida contribuem de forma mais significativa para o impacto ambiental do produto ou processo avaliado. Ao utilizar a ACV é possível avaliar a implementação de melhorias ou alternativas a produtos, processos e serviços, fazer declarações ambientais, assim como, integrar aspectos ambientais no desenvolvimento de produtos (Ecodesign) (COLTRO, 207, p. 7).

2.2.2 Histórico da ACV

A ACV surgiu na década de 1960 durante a primeira crise do petróleo, devido ao aumento das preocupações sobre as limitações de matérias-primas e recursos energéticos esgotáveis. Nessa época, diversos trabalhos foram realizados para prever os efeitos do crescimento populacional sobre a demanda de recursos materiais e energéticos finitos. As previsões para o rápido esgotamento dos combustíveis fósseis e as mudanças climáticas motivaram estudos mais detalhados quanto ao consumo de recursos energéticos não-renováveis, ao mesmo tempo em que outros avaliavam os custos e os efeitos ambientais de formas alternativas de energia (EPA, 2006, p. 4).

Segundo Guinée (2011, p. 90), em 1965 a companhia Coca-Cola solicitou ao *Midwest Research Initiative* (MRI) um estudo para comparar diversos tipos de vasilhames para refrigerantes e determinar qual embalagem apresentava melhor

desempenho ambiental quanto a emissões para o ambiente e uso de recursos naturais. O processo de quantificar o uso de recursos e liberações ambientais de produtos ficou conhecido como REPA (*Resource and Environmental Profile Analysis*). Em 1974, este modelo foi aperfeiçoado pelo MRI ao realizar um estudo encomendado pela *Environmental Protection Agency* (EPA), o que é considerado decisivo para o que hoje é conhecido como Análise do Ciclo de Vida. Um procedimento análogo chamado Ecobalance foi desenvolvido na Europa.

Já entre os anos de 1975 a 1980, houve uma queda no interesse sobre a questão do consumo de energia, pois as preocupações se concentraram no manejo de resíduos perigosos e domésticos. O panorama mudou em 1985, quando a Comunidade Econômica Europeia impôs que as empresas acompanhassem o consumo de energia e matérias-primas e a geração de resíduos sólidos nos seus processos produtivos, através da criação de uma diretiva para recipientes na área de alimentos (CHEHEBE, 2002, p. 2).

À medida que o interesse por questões que afetam os recursos e o meio ambiente foi crescendo, a metodologia voltou a ser usada, foi refinada e expandida, com auxílio de consultores e pesquisadores de todo o mundo (EPA, 2006, p. 5).

Conforme Chehebe (2002, p. 3), o Ministério de Meio Ambiente da Suíça requisitou um estudo sobre materiais para embalagens, o qual introduziu um sistema de ponderação (critério de volume crítico) e gerou um banco de dados que serviram para outros estudos. Posteriormente, esses dados sofreram atualização e originaram o primeiro *software* para ACV em 1991, o *Ökibase I e II*.

Ainda segundo o autor, o uso inadequado da ACV por várias empresas para fazer amplas alegações de marketing, a propagação de estudos baseados em diversas metodologias, a observância de resultados díspares publicados, juntamente com a pressão de outras organizações ambientais, justificavam a necessidade de uma padronização da técnica (CHEHEBE, 2002).

A *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) foi a primeira entidade a se preocupar com a padronização da metodologia de ACV. Em 1991 e 1993, ela foi responsável pelas respectivas publicações "*Technical framework for life cycle assessment*" e "*Guidelines for life cycle assessment: a code of practice*", a respeito da execução da técnica. Baseada nas publicações e nos conceitos elaborados pela SETAC, a partir de 1993 a ISO deu início ao processo de

elaboração das normas sobre ACV para padronizar o método, com a criação do Comitê Técnico TC-207 (RIBEIRO, 2009, p. 18).

A primeira norma da ISO sobre a ACV foi a ISO 14040, publicada internacionalmente em 1997. As demais normas lançadas foram: a ISO 14041 em 1998, a ISO 14042 e ISO 14043 em 2000 (FINKBEINER et al., 2006, p. 80).

A elaboração desse conjunto de normas foi fundamental para consolidar procedimentos e métodos referentes à ACV. A sua contribuição foi essencial para a aceitação geral da ACV por todas as partes interessadas e pela comunidade internacional (FINKBEINER et al., 2006, p. 80).

Em 2002, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a SETAC fizeram uma parceria internacional denominada “*The Life Cycle Initiative*”. A iniciativa é composta por três programas que pretendem pôr em prática o conceito de ciclo de vida e aprimorar as ferramentas de apoio por meio de melhores dados e indicadores (GUINÉE et al., 2011, p. 91). O programa de Gerenciamento do Ciclo de Vida (LCM) gera conscientização e melhora as capacidades dos tomadores de decisão ao produzir materiais informativos, estabelecer fóruns para compartilhar as melhores práticas e coordenar treinamentos no mundo inteiro. O programa Inventário do Ciclo de Vida (LCI) melhora o acesso global a dados de ciclo de vida transparentes e de qualidade. E o programa de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (LCIA) aumenta a qualidade e a abrangência global dos indicadores do ciclo de vida, promovendo a troca de ideias entre os especialistas cujo trabalho resulta em um conjunto de recomendações bastante aceitas (THE LIFE CYCLE INITIATIVE, 2010).

No Brasil, Lima (2007, p. 60) menciona que a primeira atividade formal envolvendo a ACV se deu em 1994, quando a ABNT criou o Grupo de Apoio à Normalização Ambiental (GANA), atualmente transformado no CB-38 (Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental), que participou na ISO/TC-207. Já em 1997, foi publicado o primeiro livro em português sobre a metodologia, intitulado *Análise de Ciclo de Vida Produtos: Ferramenta Gerencial da ISO 14000*, escrito pelo professor José Ribamar Brasil Chehebe.

Em 2001, o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (Ibict) iniciou estudos sobre a ACV no Brasil, tornando-se uma das principais instituições responsáveis por promover o desenvolvimento da técnica no país. Em 2006, foi criado o projeto “Inventário do Ciclo de Vida para a Competitividade Ambiental da

Indústria Brasileira”, o qual foi coordenado pelo Ibict em parceria com a Universidade de Brasília (UnB), Universidade de São Paulo (USP) e Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), iniciando o desenvolvimento do Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida (SICV Brasil). O SICV Brasil é um banco de dados que centraliza e hospeda inventários do ciclo de vida da produção industrial brasileira, permitindo a diferentes usuários de diversos setores, manterem seus inventários dentro de um mesmo lugar (AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA, 2018).

Em 2010 foi criado o Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV), uma iniciativa que conta com a participação de várias entidades, com o objetivo de fomentar a técnica de ACV no Brasil. A Rede Empresarial Brasileira de Avaliação de Ciclo de Vida (Rede ACV) foi instituída em 2013 e conta com a participação de organizações de todos os setores, objetivando a incorporação da ACV como uma técnica para determinar a sustentabilidade de processos e produtos. Já a ACV de A a Z é um programa de conscientização e treinamento voltado para tomadores de decisão, que procura oferecer capacitação sobre as abordagens do ciclo de vida para a sustentabilidade no país (AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA, 2018).

2.2.3 Usos e Aplicações

ACV é considerada pela Comissão Europeia a melhor técnica para avaliar a performance ambiental de um produto ou sistema (Vignali, 2017, p. 4). Com ela, Chehebe (2002, p. 13) considera que é possível quantificar e comparar de maneira integrada o desempenho ambiental de produtos, ao passo que para Coltro (2007, p. 12), ela é importante porque aborda questões ambientais complexas com clareza, gerando números que propiciam a tomada de decisões em bases objetivas.

De acordo com a UNEP (1996, p. 27), os usuários primários da ACV são: indústrias e empresas comerciais, governos nacionais e locais, órgãos reguladores nacionais e intergovernamentais, organizações não governamentais (ONGs) como grupos ambientais, organizações comerciais e sindicatos e, os próprios consumidores.

Conforme a UNEP (1996, p. 28), os principais usos da ACV na indústria são: indicar os pontos fortes e fracos do produto procurando melhorá-los, prover

informações para auxiliar no projeto de novos produtos, formulação da política da empresa, uso em negociações com fornecedores e governos, e formulação de estratégias de marketing.

Ainda segundo a UNEP (1996, p. 29), a ACV pode ser aplicada pelo governo para estabelecer critérios de rotulagem ambiental, sistemas de depósito e reembolso, auxiliar as decisões sobre como introduzir subsídios e impostos para estimular a produção mais limpa, e desenvolver estratégias de políticas gerais, como na determinação de meios de transporte e combustíveis para a geração de eletricidade.

Já as ONGs podem se valer dos estudos de ACV para produzir informações aos consumidores, fornecer uma base técnica de apoio a discussões públicas e debates e influenciar empresas e governos a aperfeiçoar suas políticas ambientais (UNEP, 1996, p. 30).

O uso da ACV pode também ser classificado em interno ou externo, uma importante distinção já que o nível de precisão necessário no estudo varia de acordo com os propósitos de aplicação. Quando a técnica é usada para propósitos externos, mais cuidado é necessário na seleção de dados e metodologia do que para uso interno (HERSHAUER; BASILE; MCNALL, 2011, p. 288).

Quanto aos usos internos, podem ser citados: o planejamento estratégico ou desenvolvimento de estratégias ambientais, o projeto de produtos e processos, identificação de oportunidades de melhorias, apoio ao estabelecimento de procedimentos ou critérios de compras, auditorias ambientais e minimização de resíduos. Já quanto aos usos externos, destacam-se: o marketing ou apoio a declarações ambientais específicas, certificações, definição de políticas, educação pública e comunicação, e apoiar o estabelecimento de procedimentos ou critérios de compras (CONSOLI et al., 1993 apud RIBEIRO, 2009, p. 27).

Para Chehebe (2002, p. 13), a ACV pode ser utilizada para um amplo número de propósitos. As principais aplicações no ponto de vista do autor são: promover uma melhora no entendimento dos aspectos ambientais e ajudar a identificar pontos de melhoria, considerando todas as etapas de um sistema de produção; dar subsídio às estratégias de marketing, promovendo a organização e seus produtos e evitando declarações simplistas; ajudar na tomada de decisão na indústria (projeto de produto ou processo, planejamento estratégico); avaliar o desempenho ambiental através de indicadores associados aos produtos; e também

ajudar a selecionar componentes produzidos de diferentes materiais para compor um certo produto.

Para a EPA (2006, p. 3), ao realizar um estudo de ACV, pode-se:

Desenvolver uma avaliação sistemática dos impactos ambientais relacionados a um certo produto;

Analisar os *trade-offs* ambientais relacionados a produtos ou processos visando obter a aceitação de partes interessadas (estado, comunidade, etc.) para uma ação planejada;

Mensurar os lançamentos ambientais para o ar, água e terra para cada estágio do ciclo de vida ou para o processo de maior contribuição;

Comparar os impactos ecológicos e de saúde entre produtos ou processos concorrentes;

Avaliar os efeitos humanos e ecológicos do consumo de recursos e liberações ambientais a nível local, regional e global;

Identificar impactos em áreas ambientais específicas de preocupação.

A ACV é uma técnica que auxilia no processo de gestão dentro das empresas, devido aos indicadores gerados pelo estudo, os quais fornecem um melhor entendimento de todo o sistema utilizado para produzir um determinado produto e a indicam pontos de melhoria no sistema (LUZ, 2011, p. 29).

2.2.4 Limitações

Apesar da padronização e da utilidade potencial da ACV, o seu valor total raramente é percebido na aplicação prática e apresenta restrições. Algumas das limitações de um estudo de ACV incluem a precisão dos dados disponíveis e acessíveis para coleta, a subjetividade na definição das fronteiras do sistema e a possível variabilidade espacial e temporal dos impactos avaliados. Além disso, a disponibilidade de dados e a variabilidade da definição das fronteiras podem restringir a comparabilidade entre os estudos de ACV (OLINZOCK et al., 2015, p. 2).

Um dos principais problemas na aplicação da ACV envolve as decisões subjetivas, as quais estão presentes na escolha dos limites do sistema, na seleção da origem e da idade dos dados, na escolha das categorias de impacto e dos

modelos de avaliação de impacto, fazendo com que a técnica perca parte do seu caráter objetivo (NIGRI, 2012, p. 27).

Além disso, não existe uma metodologia única para a aplicação da ACV, uma vez que além da ISO, a SETAC e outras respeitadas instituições em seus países propuseram estruturas conceituais para conduzir estudos. Registros mostram que o emprego de diferentes metodologias para o mesmo caso podem originar resultados distintos, embora as variações entre os métodos não sejam demasiadas (SEO; KULAY, 2006, p. 15).

Outra questão importante é que a ACV não determina qual produto ou processo dispõe de características superiores quanto a custo, funcionalidade e questões éticas. Portanto, o uso dessa técnica deve ser combinado com outros instrumentos de análise, fornecendo assim informações mais completas para o gerenciamento ambiental e à tomada de decisões (EPA, 2006, p. 5).

Segundo Zocche (2014, p. 81), outro obstáculo envolve a carência de bancos de dados nacionais, fazendo com que bases de dados internacionais sejam utilizadas em muitos estudos de ACV no Brasil. Porém, esse cenário está mudando com a criação do Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida (SICV Brasil), um banco de dados criado para organizar, hospedar e disseminar informações sobre inventários do ciclo de vida (ICVs) de produtos nacionais (AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA, 2018).

Pesquisas que investigam a ACV na perspectiva de profissionais da área revelaram limitações quanto ao uso e ao avanço de sua prática. As principais barreiras listadas foram o tempo e recursos envolvidos na coleta de dados, a complexidade geral do modelo, a falta de demanda dos clientes e a incerteza associada ao retorno do investimento (OLINZOCK et al., 2015, p. 2).

2.2.5 ACV e as Normas ISO

De acordo com Chehebe (2002, p. 9), as normas da série ISO 14040,

definem requisitos gerais para a condução de ACV's e estabelecem critérios éticos para a divulgação dos resultados ao público. O propósito dessas normas é fornecer às empresas ferramentas para a tomada de decisão bem como a avaliação de alternativas sobre métodos de manufatura. Elas podem, também, ser usadas para dar apoio às declarações de rótulos ambientais ou para selecionar indicadores ambientais.

Segundo HORNE; GRANT; VERGHESE (2009, p. 3), os padrões internacionais auxiliam nas especificações, definição, método e protocolos relacionados à execução, revisão e comunicação dos resultados de estudos de ACV.

Inicialmente, as normas sobre a ACV publicadas pela *International Organization for Standardization* (ISO) foram:

- ISO 14040 – *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework* (1997);
- ISO 14041 – *Environmental management – Life cycle assessment – Goal and scope definition and inventory analysis* (1998);
- ISO 14042 – *Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle impact assessment* (2000);
- ISO 14043 – *Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle interpretation* (2000).

Em 2003 foi criado um grupo de trabalho com vários especialistas internacionais para conduzir uma revisão destas normas, com o propósito de melhorar a legibilidade, não alterando os requisitos e conteúdo técnico, apenas corrigindo erros e inconsistências. Assim, a ISO 14040 foi mantida como um documento modelo, enquanto todos os requisitos técnicos foram transferidos para a nova ISO 14044 (FINKBEINER et al., 2006, p. 81).

As duas normas revisadas foram publicadas em 2006:

- ISO 14040 – *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework* (2006).

Apresenta os princípios e a estrutura para as fases de um estudo de ACV e suas relações, apresentação de relatórios e revisão crítica, limitações e condições para o uso de escolhas de valor e elementos opcionais. Ela não descreve a técnica em detalhes nem apresenta metodologias específicas para as fases do estudo (ABNT, 2009a).

- ISO 14044 – *Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines* (2006).

Explicita os requisitos e fornece orientações para estudos de ACV abrangendo as quatro fases da metodologia e suas relações, o relatório e a revisão crítica, limitações, e condições para o uso de escolhas de valor e elementos opcionais (ABNT, 2009b).

Há ainda três relatórios técnicos na série ISO 14040 que exemplificam a aplicação das normas relativas à ACV:

- ISO/TR 14047 – *Environmental management – Life cycle assessment – Illustrative examples on how to apply ISO 14044 to impact assessment situations* (2012).

Relatório Técnico que exemplifica a prática atual da avaliação de impacto do ciclo de vida de acordo com ISO 14044.

- ISO/TS 14048 – *Environmental management – Life cycle assessment – Data documentation format* (2002).

Especificação Técnica fornece os requisitos e uma estrutura para um formato de documentação de dados, permitindo uma documentação consistente, relatórios de coleta de dados, cálculo de dados e qualidade dos dados, especificando e estruturando informações relevantes.

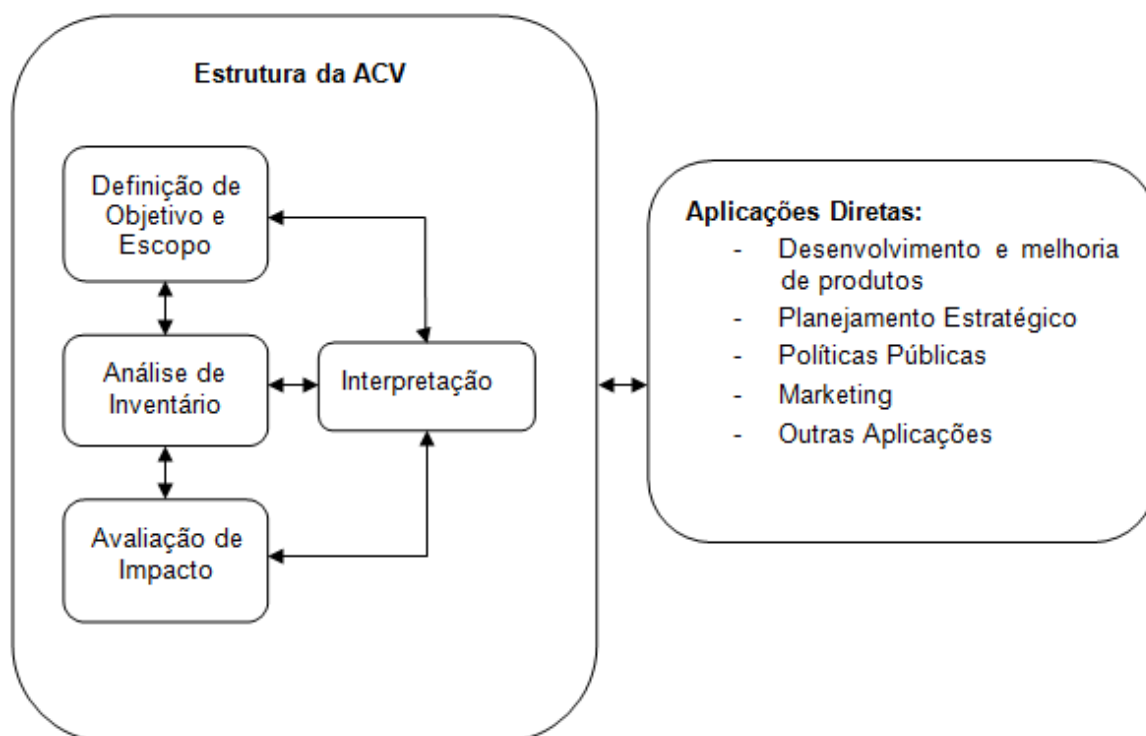
- ISO/TR 14049 – *Environmental management – Life cycle assessment – Illustrative examples on how to apply ISO 14044 to goal and scope definition and inventory analysis* (2012).

Trata-se de um Relatório Técnico que provê exemplos sobre práticas para conduzir uma análise de ICV, satisfazendo disposições da ISO 14044.

2.2.6 Fases da ACV

Segundo a norma ISO 14040 (ABNT, 2009a, p. 7), uma ACV consiste em quatro fases metodológicas: a) definição de objetivos e escopo; b) análise de inventário; c) avaliação de impacto; e d) interpretação. A Figura 2 ilustra o relacionamento entre essas fases, baseadas na norma ISO.

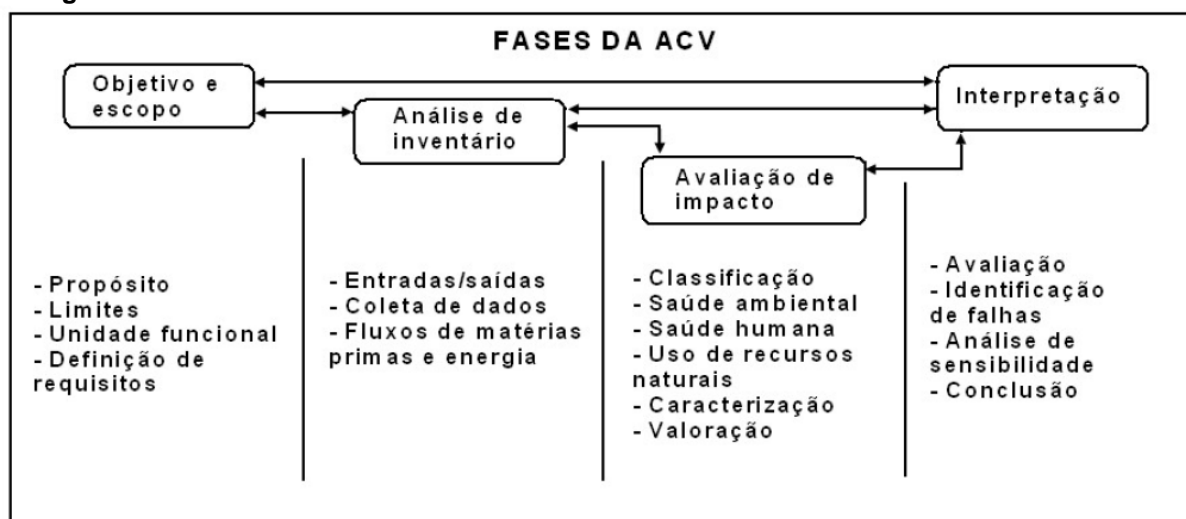
Figura 2 – Estrutura de uma ACV



Fonte: ABNT (2009).

A Figura 3 exibe as fases da ACV com suas características e relações.

Figura 3 – Fases da ACV



Fonte: Chehebe (2002).

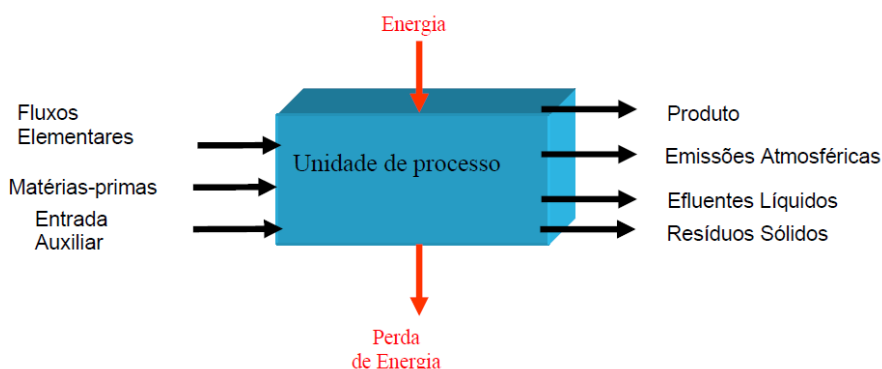
2.2.6.1 Definição do objetivo e escopo

Segundo a ISO 14040 (ABNT, 2009a, p. 12), o objetivo deve declarar de forma clara a aplicação pretendida, os motivos para a realização do estudo, o público-alvo (a quem se pretende informar os resultados) e se há a intenção de tornar públicos os resultados obtidos em afirmações comparativas.

Já o escopo do estudo, de acordo com a ISO 14044 (ABNT, 2009b), deve considerar e descrever claramente os seguintes itens:

- Sistema de produto a ser estudado: representa o conjunto de processos elementares, com fluxos materiais e energéticos, que desempenham uma ou mais funções definidas e moldam o ciclo de vida de um produto.
- As funções do sistema de produto, ou dos sistemas no caso de estudos comparativos: a finalidade de uso do produto, ou seja, a característica de desempenho.
- A unidade funcional: uma unidade de referência para a qual os dados de entrada e saída do sistema são normalizados. Caso o estudo envolva mais de um produto, a comparação só poderá ser feita se desempenharem a mesma função, quantificadas pelas mesmas unidades funcionais.
- A fronteira do sistema: especifica quais processos elementares devem ser incluídos no sistema de produto a ser modelado e seu nível de detalhamento. Para facilitar a definição da fronteira do sistema e a identificação das entradas e saídas, faz-se útil descrever o sistema através de um fluxograma de processo, apresentando os processos elementares e suas inter-relações (RIBEIRO, 2009, p. 38). Segundo a ISO 14040, um processo elementar, conforme mostra a Figura 4, é “o menor elemento considerado na análise de inventário do ciclo de vida para o qual os dados são quantificados” (ABNT, 2009a, p. 5).

Figura 4 – Processo elementar



Fonte: Ometto (2005, p. 59).

Para Chehebe (2002, p. 30), é importante definir onde cada processo elementar tem início, com o recebimento de matérias-primas ou produtos intermediários, as transformações e operações que são parte do processo elementar, e onde ele termina com a destinação de produtos intermediários e finais.

- Procedimentos de alocação: utilizado quando o estudo envolve sistemas de produtos múltiplos, reuso ou reciclagem, assim os fluxos de entrada e saída precisam ser repartidos entre o sistema em estudo e os outros, conforme procedimento previamente estabelecido. O fator de alocação pode se basear em critérios físicos (massa ou energia) ou em critérios econômicos (valor comercial dos produtos).
- Metodologia de AICV e tipos de impactos: Devem ser determinadas quais categorias de impacto, indicadores das categorias e modelos de caracterização a serem incluídos na ACV.
- Interpretação a ser utilizada, conforme estabelecido no objetivo e escopo do estudo.
- Requisitos de dados: representam as características dos dados do estudo.
- Pressupostos: suposições e considerações assumidos no estudo.
- Escolha de valores e elementos opcionais: normalização, agrupamento e ponderação.
- Limitações encontradas no estudo.
- Requisitos de qualidade dos dados: os quais devem incluir a cobertura temporal, geográfica e tecnológica, precisão, completeza,

representatividade, consistência, reprodutibilidade, fontes dos dados e incerteza da informação.

- Revisão crítica, quando necessária: deve-se determinar como será conduzida e quem será o responsável por esta revisão, realizada para garantir que os métodos usados para conduzir a ACV satisfazem os princípios e requisitos dessa norma;
- Tipo e formato do relatório, para exibir os resultados e conclusões da ACV ao público-alvo de forma integral, precisa e neutra.

De modo simplificado a norma ISO 14040 estabelece que o escopo do estudo de ACV precisa ter um conteúdo mínimo e deve referir-se às suas três dimensões: a extensão (onde dar início e terminar o estudo); a largura (subsistemas incluídos); e a profundidade (nível de detalhamento do estudo), as quais devem ser determinadas de modo compatível e aceitável para atender o estabelecido no objetivo (CHEHEBE, 2002, p. 22).

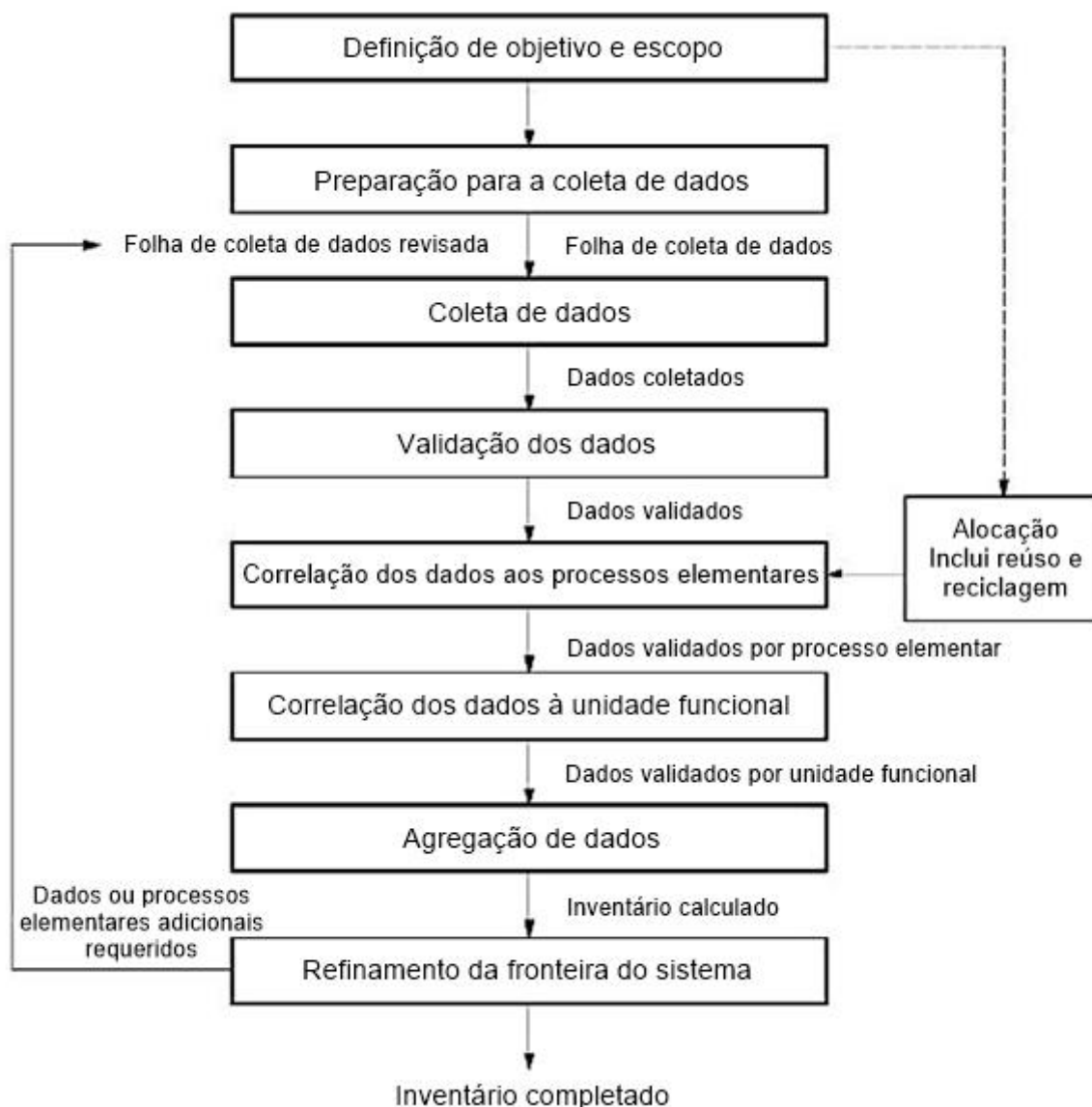
2.2.6.2 Análise do inventário do ciclo de vida (ICV)

A etapa anterior de definição do objetivo e escopo fornece um plano inicial para a condução do estudo. Já etapa de ICV, envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculos que tem como objetivo quantificar as entradas e saídas do sistema, as quais podem ser classificadas em: entradas de energia, matérias-primas, auxiliares e outras entradas físicas; produtos, coprodutos e resíduos; emissões atmosféricas, efluentes líquidos e liberações para o solo; e outros aspectos ambientais. A construção do ICV é iterativa e levando em conta que o conhecimento do sistema aumenta conforme se obtém dados, deve-se atualizar as definições de objetivo e escopo sempre que necessário (RIBEIRO, 2009, p. 43).

Ainda segundo o autor, das quatro fases que compõem a metodologia de um estudo de ACV, a elaboração do inventário é a mais onerosa em termos de tempo e de recursos financeiros.

A Figura 5 mostra de forma mais detalhada os passos operacionais para a execução da etapa de análise de inventário, a qual inclui: a preparação para a coleta de dados, a coleta, a determinação para os procedimentos de cálculos e a sua alocação no estudo (NIGRI, 2012, p. 34).

Figura 5 – Procedimentos para análise de inventário



Fonte: ABNT (2009b).

Segundo Chehebe (2002, p. 48), a coleta de dados exige alguns cuidados para garantir que as informações que serão requeridas às empresas sejam entendidas com nitidez. Essas medidas devem incluir a elaboração de fluxogramas com todos os processos elementares e suas inter-relações, a descrição de cada processo e listagem dos dados associados a estes, uma lista apontando as unidades de medidas usadas, a determinação dos métodos de coleta e cálculo para cada categoria de dado e o fornecimento de instruções para documentação de casos específicos e irregularidades.

Os dados qualitativos e quantitativos devem ser coletados para cada processo elementar contido na fronteira do sistema (ABNT, 2009b). Para Ribeiro

(2009) e Chehebe (2002), a coleta de dados pode ser realizada através de medições locais, aplicação de questionários específicos, literatura e normas técnicas, estatísticas e licenças ambientais, informação interna nas empresas, fornecedores reais ou potenciais, cálculos teóricos e bancos de dados de ACV.

É importante ressaltar que alguns parâmetros devem ser observados na coleta de dados, como a cobertura temporal (idade dos dados e período de tempo mínimo para coletá-los), a cobertura geográfica (região indicada para coleta de dados) e a cobertura tecnológica (combinação de tecnologias e identificação de diferenças tecnológicas para os processos em estudo) (OMETTO, 2005, p. 60).

De acordo com Ribeiro (2009, p. 49), depois de coletar os dados é necessário que cálculos sejam realizados, com a finalidade de adequar os dados colhidos aos processos elementares e à unidade funcional e aferir sua qualidade. Para verificar inconsistências, os dados passam por uma validação, que pode envolver balanços de massa ou de energia. Então, determina-se um fluxo apropriado para cada processo elementar e assim, faz-se a normalização dos fluxos dos processos elementares em relação à unidade funcional. Deste modo, o resultado dos cálculos deve referir todos os dados de entrada e saída à unidade funcional (CHEHEBE, 2002).

Já a alocação se faz necessária quando o sistema de produto inclui múltiplos processos que geram mais de um produto, e/ou há reuso e reciclagem, e os fluxos de materiais e energia precisam ser alocados entre os diferentes produtos (ABNT, 2009b, p. 17).

Segundo van der Harst, Potting e Kroeze (2016, p. 4), a norma ISO 14044 define dois princípios fundamentalmente distintos para atribuir impactos ambientais em processos multifuncionais: a) evitar a alocação e b) alocação. O seguinte procedimento hierárquico é aplicado:

- a) a alocação deve ser evitada por meio de:
 - divisão do processo em subprocessos;
 - por meio da expansão do sistema.
- b) se não for possível evitar a alocação, então esta deve ser feita de acordo com:
 - as relações físicas subjacentes (por exemplo, massa ou conteúdo energético);

- baseadas em outras relações (por exemplo, valores econômicos de produtos de saída);
- o número de utilizações subsequentes do material reciclado.

Os resultados do ICV listam os aspectos ambientais de forma quantificada, os quais poderão ser avaliados na etapa seguinte para obtenção dos impactos ambientais relacionados ao ciclo de vida do produto em estudo (LUZ, 2011, p. 39).

2.2.6.3 Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)

Os dados identificados na análise de inventário são utilizados nesta fase de avaliação de impacto para calcular a contribuição do sistema de produtos para uma série de impactos ambientais potenciais (VAN DER HARST; POTTING; KROEZE, 2016, p. 2).

Na AICV, os dados do inventário são “estruturados, examinados, condensados e simplificados” de modo a facilitar uma análise por parte dos tomadores de decisão (CHEHEBE, 2002, p. 67).

A norma ISO 14044 (ABNT, 2009b) propõe que a AICV seja composta de elementos obrigatórios e elementos opcionais. Os elementos obrigatórios abrangem a seleção das categorias de impacto, a classificação e a caracterização, já os opcionais incluem a normalização, agrupamento, a atribuição de pesos e análise adicional da qualidade dos dados. Apresentar-se-á alguns detalhes destes elementos a seguir:

a) Seleção e definição das categorias de impacto

Nessa etapa ocorre a seleção das categorias de impacto que serão usadas no estudo, a qual deve ser justificada e considerar as preocupações ambientais identificadas no objetivo e no escopo. As categorias devem ser definidas de forma clara e com base no conhecimento científico (ABNT, 2009b).

De acordo com Nigri (2012, p. 37), algumas das categorias de impacto que podem ser utilizadas em estudos são:

- Exaustão de recursos não renováveis – extração e emprego de combustíveis fósseis e minerais;

- Aquecimento global – provocado pelo acúmulo de CO₂, N₂O, CH₄, aerossóis e outros gases na atmosfera, que retém parte da radiações emitidas pela Terra, ocasionando um aumento nas temperaturas globais;
- Redução da camada de ozônio – o uso dos gases chamados clorofluorcarbonos, os CFCs, leva a uma redução da camada de ozônio, o que facilita que raios ultravioletas atinjam a superfície terrestre, podendo resultar em um aumento de doenças, danos a alguns tipos de materiais e interferências em ecossistema;
- Toxicidade humana – exposição a substâncias tóxicas, acarretando problemas à saúde humana;
- Ecotoxicidade – despejo de substâncias tóxicas em água ou solo, causando danos à fauna e flora;
- Acidificação – aumento da acidez de meios aquáticos e terrestres ocasionada pela emissão de óxidos de nitrogênio e de enxofre para a atmosfera, água ou solo, causando efeitos nocivos à população, fauna e flora e edificações;
- Oxidantes fotoquímicos – formados devido a reações entre óxidos de nitrogênio e substâncias orgânicas voláteis sob a ação dos raios ultravioletas, causando nevoeiros;
- Eutrofização – o acúmulo de nutrientes principalmente em corpos d'água conduz a uma maior produção de biomassa, reduzindo a concentração de oxigênio, o que afeta negativamente os peixes e outros organismos vivos.
- Uso da terra – impacto relacionado a retirada da biodiversidade a ocupação da terra para atividade humanas;
- Radiação – contaminação por partículas radioativas, provenientes de algumas atividades de extração;
- Respiração de partículas inorgânicas – inalação de substâncias inorgânicas (partículas, óxidos, nitratos) pelo ser humano causam danos à saúde;
- Respiração de partículas orgânicas – inalação de partículas com carbono em sua estrutura geram efeitos negativos à saúde humana.

b) Classificação

É feita a atribuição dos resultados da análise de inventário a cada uma das categorias de impacto selecionadas. Nesta etapa, todas as entradas e saídas listadas no inventário que contribuem para causar um impacto ambiental são classificadas conforme o problema que contribuem (NIGRI, 2012, p. 37). De acordo com Chehebe (2002, p. 66), a alocação adequada é decisiva para a relevância e validade da AICV.

c) Caracterização

A caracterização envolve a conversão dos resultados do ICV para unidades comuns, utilizando fatores de caracterização, e a reunião dos resultados convertidos em uma dada categoria de impacto. O resultado do cálculo é um indicador numérico (ABNT, 2009b, p. 23).

Os fatores de caracterização, ou também chamados de fatores de equivalência “indicam quanto uma determinada substância contribui para um determinado problema ambiental comparada a uma substância de referência” (CHEHEBE, 2002, p. 76).

d) Normalização

Este elemento opcional visa prover um melhor entendimento dos resultados da caracterização, calculando quanto estes valores significam dentro de um valor de referência para cada uma das categorias de impacto (RIBEIRO, 2009, p. 55). A norma ISO 14044 (ABNT, 2009b, p. 24) estabelece que a normalização é feita dividindo-se um resultado de indicador por um valor de referência selecionado.

e) Agrupamento

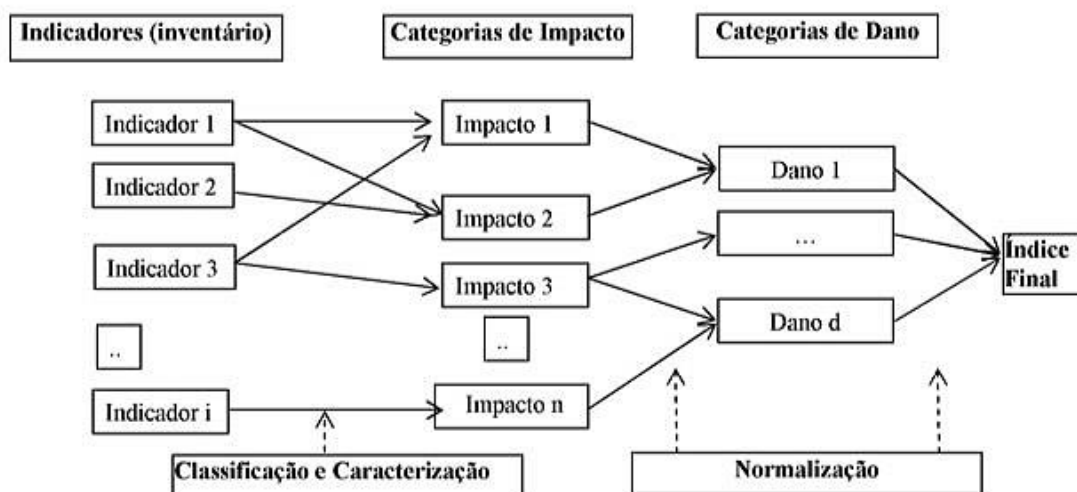
É uma reunião das categorias de impacto em conjuntos. Segundo a norma ISO 14044 (ABNT, 2009b), há duas formas de realizar este procedimento: dispor as categorias em uma base nominal (através de características de entrada e saída, ou escalas locais e regionais); ou hierarquizar as categorias usando, por exemplo, uma ordem de prioridade.

f) Ponderação

Esta etapa atribui pesos para os resultados da avaliação de impacto de acordo com sua importância, e em seguida pode-se somar os resultados ponderados, obtendo-se um único indicador. A atribuição de pesos muitas vezes é tida como subjetiva, não-científica e sujeita a interferências de caráter político-ideológico, fazendo com que sua utilização se dê com prudência ou seja restrita a casos realmente necessários (CHEHEBE, 2002).

A Figura 6 apresenta um esquema simplificado das etapas da AICV.

Figura 6 – Modelo geral de avaliação de impactos na ACV



Fonte: Figueirêdo et al. (2010).

2.2.6.4 Interpretação

A interpretação do ciclo de vida de um estudo de ACV avalia os resultados da análise de inventário e da avaliação de impacto, e faz conclusões com base na definição do objetivo e do escopo (VAN DER HARST; POTTING; KROEZE, 2016, p. 2).

De acordo com a ISO 14044 (2009b), esta fase inclui os seguintes elementos:

a) identificação dos temas relevantes

Consiste na estruturação dos resultados do ICV e da AICV para ajudar a identificar as questões ambientais significativas. Isto ocorre de forma iterativa com a etapa de avaliação, com a finalidade de levar em conta as consequências dos métodos usados, dos pressupostos adotados, etc. em fases anteriores.

b) avaliações

Com objetivo de determinar e aumentar a confiabilidade dos resultados, este segundo elemento faz uma síntese do estudo com base nas fases precedentes da ACV e nos dados estruturados na identificação.

Para tal, três técnicas devem ser usadas:

- Análise de completeza: tem como objetivo certificar que dados necessários e informações importantes para o estudo estejam completos e disponíveis. Informações incompletas ou ausentes podem acarretar no acréscimo de considerações ao relatório, ou mesmo a uma revisão das fases precedentes.
- Análise de sensibilidade: A fim de avaliar o grau de confiança dos resultados e conclusões, realizam-se alterações em parâmetros-chave do ciclo de vida em estudo, para descobrir de que forma e em que extensão pequenas mudanças nos dados influenciam no resultado final. Para realizar esta análise podem ser usados métodos práticos como a construção de cenários ou variação.
- Análise de consistência: tem como objetivo verificar a consistência das suposições feitas, métodos e dados usados com o objetivo geral do estudo.

c) conclusões, limitações e recomendações

As conclusões devem ser estabelecidas iterativamente com os outros elementos da fase de interpretação, em consonância com as definições iniciais. Então, se apropriado, devem ser feitas recomendações aos tomadores de decisão baseadas nas conclusões finais do estudo (ABNT, 2009b).

Após o término do estudo, os resultados devem ser apresentados ao público-alvo através de um relatório, com tipo e formato determinados na fase de definição do objetivo e escopo. Os resultados, dados, metodologias, suposições e limitações devem ser reportados com transparência e grau de detalhamento suficiente, permitindo que o leitor compreenda as complexidades inerentes ao estudo de ACV (ABNT, 2009b, p. 30).

A norma ISO 14044 (ABNT, 2009b, p. 34), ainda sugere que seja feita uma revisão crítica para verificar se os requisitos foram satisfeitos quanto aos métodos, aos dados, à interpretação e ao relatório. Como e quem conduzirá essa verificação é determinado no escopo do estudo.

As revisões críticas geralmente são opcionais e podem ser conduzidas por especialistas internos, especialistas externos ou partes interessadas. A declaração do resultado da revisão, assim como comentários ou recomendações dos especialistas devem ser anexadas ao relatório final da ACV (ABNT, 2009b, p. 35).

2.2.7 Softwares para Apoio à ACV

A ACV é uma técnica complexa que demanda um elevado número de dados, um alto consumo de tempo e recursos. Para facilitar os estudos de ACV, vários *softwares* foram desenvolvidos, auxiliando na execução de cálculos e retornando resultados mais confiáveis (RIBEIRO, 2009, p. 63).

Para Mariotoni; Cunha; Baptistela (2007 apud RIBEIRO, 2009, p. 63), os *softwares* são ferramentas computacionais que simplificam o gerenciamento dos dados nesses estudos das seguintes formas:

- Fornecem bancos de dados, o que diminui o tempo necessário para a coleta de dados;
- Fazem avaliação de impactos e interpretação;
- Passam por atualizações frequentes para acompanhar o desenvolvimento da técnica da ACV;
- Facilitam a apresentação dos resultados através do uso de gráficos e tabelas.

Devido a essas inúmeras vantagens, o emprego de *softwares* para a condução de uma ACV se torna conveniente.

Deve-se levar em consideração também que cada *software* tem suas vantagens e suas desvantagens, em relação à funcionalidade ou preço. Esses programas são projetados para ajudar o usuário nas etapas de ICV e AICV e para isso, devem apresentar facilidade de uso e capacidade para processar os dados, produzindo resultados com rapidez e exatidão (ZOCHE, 2014, p. 46).

De acordo com EPA (2006, p. 74) e RIBEIRO (2009, p. 65), os principais *softwares* de apoio à ACV são listados no Quadro 1.

Quadro 1 – Softwares de apoio à ACV

Ferramenta	Vendedor	País
ATHENA™	The Athena Sustainable Materials Institute	América do Norte
BEES	National Institute for Standards and Technology (NIST)	EUA
The Boustead Model	Boustead Consulting Limited	Reino Unido
CMLCA	Centre of Environmental Science (CML) – Leiden University	Holanda
ECO-it	PRé Consultants B. V.	Holanda
EcaScan	TNO Industrial Technology	Holanda
EIO-LCA	Green Design Institute	EUA
GaBi	PE International GmbH	Alemanha
GEMIS	Oeko-Institut	Alemanha
GREET Model	The U.S. Department of Energy's Office of Transportation Technologies	EUA
IDEMAT	Delft University of Technology	Holanda
KCL-ECO	Ou Keskuslaboratorio-Centrallaboratorium Ab, KCL	Finlândia
LCAIT	CIT Ekologik	Suécia
LCAPIX	KM Limited	EUA
REGIS	Simum GmbH	Suíça
SimaPro	PRé Consultants B. V.	Holanda
SPOLD	Society for Promotion of Life-cycle Assessment Development	Dinamarca
TEAM™	Pricewaterhouse Coopers Ecobilan Group	França
Umberto	ifu Hamburg GmbH	Alemanha
WISARD™	Pricewaterhouse Coopers Ecobilan Group	França

Fonte: EPA (2006) e Ribeiro (2009).

Conforme pode ser observado no Quadro 1, dos vinte principais *softwares* listados, quinze foram desenvolvidos por países europeus. O grande número de *softwares* desenvolvidos na Europa confirma o estágio avançado da técnica no continente, demonstrando que seus países estão bastante interessados em oferecer contribuição aos estudos de ACV, fornecendo dados para que estes se tornem relevantes e de qualidade (RIBEIRO, 2009, p. 64).

3 METODOLOGIA

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

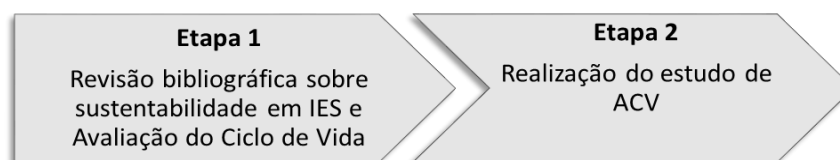
Quanto à sua natureza, esta pesquisa é aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, orientados para a solução de problemas específicos (GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 35). Neste caso busca fornecer informações sobre o desempenho ambiental de um produto específico e contribuir para futuras tomadas de decisões na UTFPR câmpus Ponta Grossa.

Já com base em seus objetivos, pode ser classificada como exploratória, pois de acordo com Gil (2008, p. 45), seu propósito é o “aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições”, fornecendo maior compreensão do fato estudado. Quanto aos procedimentos técnicos utilizados, seu planejamento assume a forma de pesquisa bibliográfica e de estudo de caso (GIL, 2008, p. 48).

3.2 MÉTODO DE EXECUÇÃO

De modo a responder o problema de pesquisa e alcançar os objetivos listados no capítulo 1, a metodologia para conduzir este trabalho pode ser dividida em duas etapas principais: uma revisão bibliográfica sobre a sustentabilidade em IES e sobre a ACV, seguida da realização do estudo de ACV, conforme mostra a Figura 7.

Figura 7 – Etapas gerais da metodologia



Fonte: Autoria própria.

A etapa 1 consistiu em fazer uma revisão exploratória da literatura sobre sustentabilidade em IES e a ACV.

O levantamento bibliográfico deu-se por meio da consulta a livros, dissertações, teses, artigos científicos, normas técnicas e documentos eletrônicos.

Além dessas fontes, também foram realizadas pesquisas na internet em sites oficiais de órgãos e instituições.

A pesquisa foi realizada nas bases de dados *ScienceDirect* (<http://www.sciencedirect.com/>) e *Google Scholar* (<https://scholar.google.com.br/>) usando as palavras-chave “Sustentabilidade em Universidades”, "*Sustainability in Universities*", “Sustentabilidade na Educação Superior”, "*Sustainability in Higher Education*", “Avaliação do Ciclo de Vida”, e "*Life Cycle Assessment*", sendo a busca limitada aos últimos 20 anos.

Por meio desta pesquisa exploratória, foram selecionados 76 artigos e livros que contemplavam a concepção geral da incorporação da sustentabilidade pelas IES ou da ACV, primeiramente a partir da leitura do título, seguida da leitura do resumo para verificar a concordância com o tema do trabalho. Destes, 40 foram de fato utilizados no trabalho, e a partir da sua leitura, foi possível construir o referencial teórico, o qual foi organizado em duas partes:

a) Sustentabilidade em Instituições de Ensino Superior

Foram estudados as cobranças e o processo de inserção da sustentabilidade nas IES, o papel que estas desempenham no desenvolvimento sustentável e alguns exemplos do que elas vêm praticando.

b) Avaliação do Ciclo de Vida

Nessa parte do trabalho estudaram-se: o conceito de ciclo de vida e a definição de ACV; um breve histórico acerca dos estudos feitos e o desenvolvimento da metodologia de execução da técnica; os usos e aplicações da ferramenta, bem como suas limitações; a série de normas ISO que regem a ACV e a metodologia para condução da mesma; e os *softwares* existentes para apoio da técnica.

Já a etapa 2 refere-se à realização do estudo de ACV, para avaliar o desempenho ambiental do copo plástico reutilizável. A estrutura metodológica para conduzir esse estudo segue as normas ISO 14040 e ISO 14044 (ABNT, 2009a, 2009b), as quais determinam os requisitos gerais para execução da técnica e as suas fases, conforme descrito a seguir:

a) Definição do objetivo e do escopo

Inicialmente, descreveu-se o copo plástico reutilizável e o seu processo produtivo e, em seguida, definiu-se o objetivo e o escopo do estudo.

b) Análise de inventário

Uma vez conhecido o sistema de produto, esta segunda fase do trabalho constitui-se, essencialmente, da identificação e quantificação de todos os fluxos mássicos e energéticos associados ao sistema do produto estudado.

Os dados de inventário referentes às etapas de fabricação e distribuição foram coletados diretamente com o fabricante do produto, através do preenchimento de um questionário. Já os dados referentes à etapa de lavagem do produto foram retirados de relatórios técnicos.

Os demais dados necessários para a elaboração dos inventários foram retirados do banco de dados Ecoinvent 3.3. Após a coleta, os dados passaram por uma validação, através de balanços de massa para verificar se o total do que entra no sistema é igual ao que sai. Então, adequaram-se os dados colhidos aos processos elementares e à unidade funcional.

c) Avaliação de impactos do ciclo de vida

Em seguida, inseriram-se os dados coletados no *software* Umberto NXT Universal para análise, o qual encontra-se disponível na universidade onde a pesquisa foi desenvolvida.

Para análise dos impactos ambientais utilizaram-se os métodos *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC 2013), o *Center of Environmental Science* (CML 2001) e o *International Reference Life Cycle Data System* (ILCD 2016) para avaliar as categorias de impacto escolhidas, conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Métodos de AICV e categorias de impacto avaliadas

Método de AICV	Categoria de impacto
<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (IPCC 2013)	Potencial de aquecimento global
<i>Center of Environmental Science</i> (CML 2001)	Potencial de eutrofização
<i>International Reference Life Cycle Data System</i> (ILCD 2016)	Esgotamento de recursos

Fonte: Autoria própria.

Para a categoria de impacto potencial de aquecimento global, optou-se pelo uso do método de avaliação IPCC 2013, considerando um horizonte temporal de 100 anos suficiente para verificar os efeitos cumulativos. Desenvolvido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), é um método *midpoint*, que quantifica o impacto ambiental em quilogramas de dióxido de carbono equivalente (kg CO² eq.) (MENDES, 2013, p. 22).

Já o método CML 2001 foi utilizado para avaliar a categoria de impacto potencial de eutrofização, a qual quantifica o impacto ambiental em quilogramas de óxidos de nitrogênio equivalente (kg NO_x eq.). Foi escolhido por possuir uma abordagem *midpoint*, apresentar escopo de aplicação global e devido aos seus modelos de caracterização terem sido selecionados por meio de uma extensa revisão das várias metodologias existentes (MENDES, 2013, p. 42).

Para a categoria de impacto esgotamento de recursos minerais, fósseis e renováveis, o método ILCD 2016 foi escolhido. É um método *midpoint* para essa categoria e quantifica o impacto em quilogramas de antimônio equivalente (kg Sb eq.). O ILCD é o resultado de um projeto dirigido pelo *Joint Research Centre* (JRC) da Comissão Europeia que analisou diversas metodologias de AICV para eleger o método recomendado para cada tema ambiental (EUROPEAN COMMISSION, JOINT RESEARCH CENTRE, INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND SUSTAINABILITY, 2012).

Com a determinação dos impactos ambientais potenciais no *software*, realizou-se a análise dos resultados da avaliação do copo plástico reutilizável frente às categorias de impacto escolhidas.

d) Interpretação

De acordo com a norma ISO 14040 (ABNT, 2009a), esta é a fase na qual os resultados do ICV e da AICV são combinados com o objetivo e o escopo, de modo a se obterem conclusões e recomendações. Neste trabalho, essa fase é apresentada no capítulo de considerações finais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO

Este estudo de ACV tem o objetivo de avaliar o ciclo de vida do copo plástico reutilizável adotado no RU da UTFPR câmpus Ponta Grossa frente aos potenciais impactos ambientais de cada atividade e apontar oportunidades de melhorias ambientais.

O público-alvo deste estudo são os tomadores de decisões da universidade e toda a comunidade acadêmica que utiliza esse produto.

A seguir, listam-se os elementos que compõem o escopo da ACV do copo plástico reutilizável:

- Função do sistema

O objeto deste estudo de ACV é o copo plástico reutilizável de polipropileno (PP) mostrado na Figura 8, com capacidade de 400 mililitros e produzido a partir do processo de injeção. A principal função desse produto é ser utilizado como recipiente para servir bebidas nas refeições do RU.

Figura 8 – Modelo de copo plástico avaliado no estudo



Fonte: Autoria própria.

O polipropileno é um plástico obtido por meio de reações de polimerização, nas quais micromoléculas, chamadas monômeros, reagem entre si formando moléculas maiores, caracterizadas pela repetição de uma unidade básica. O monômero para a sua produção é o propeno, também chamado de propileno (MANO; MENDES, 2004).

O PP é uma resina de baixa densidade, apresenta equilíbrio de propriedades térmicas, químicas e elétricas, facilidade de reciclagem, além de grande resistência a rupturas por fadiga e flexão. Isso o torna muito versátil, podendo ser utilizado em

uma ampla gama de produtos finais em múltiplos segmentos de mercado. Os principais processos de transformação pelos quais a resina pode passar são: injeção, extrusão, filme e sopro (CALLISTER JR, 2002; CARVALHO et al., 2007).

A injeção é um dos processos mais utilizados para transformar o PP em produtos comerciais. A máquina injetora realiza a plastificação e homogeneização da massa polimérica, para, em seguida, transmitir o material fundido pelos canais de injeção de um molde. O material é então resfriado dentro do molde, de modo a permitir a sua solidificação e posterior retirada da peça sem deformação (MANO; MENDES, 2004, p. 68).

- Unidade funcional

Para a definição da unidade funcional, considerou-se que um aluno regular frequenta a UTFPR 200 dias letivos por ano, durante 4 anos, e faz uma refeição ao dia no RU.

Neste estudo, assumiu-se que o aluno utiliza um único copo durante a sua permanência na UTFPR, o qual mantém sua integridade em todo o período de utilização, sendo lavado manualmente todas as vezes após ser usado. Desta forma, antes de ser descartado, o copo é passível de ser utilizado 800 vezes.

Para a lavagem manual, assumiu-se que o consumo médio de água é de 1,73 litros por copo lavado, segundo dados retirados de um estudo brasileiro (L. A. FALCÃO BAUER LTDA, 2014). Quanto ao consumo médio de detergente líquido neutro, assumiu-se o uso de 0,36 mililitros por copo lavado, considerando a utilização de um dos principais detergentes comercializados no país, que lava até 1375 pratos por embalagem de 500 mililitros, com rendimento comprovado por instituto externo.

Assim, a unidade funcional é definida como 800 utilizações do copo plástico reutilizável por um aluno regular na UTFPR, lavando o copo com 1,73 litros de água e 0,36 mililitros de detergente neutro após cada utilização.

- Fluxo de referência

O fluxo de referência relacionado à unidade funcional e utilizado para a obtenção dos dados do ICV é 1 copo plástico reutilizável de PP.

- Sistema de produto e fronteira

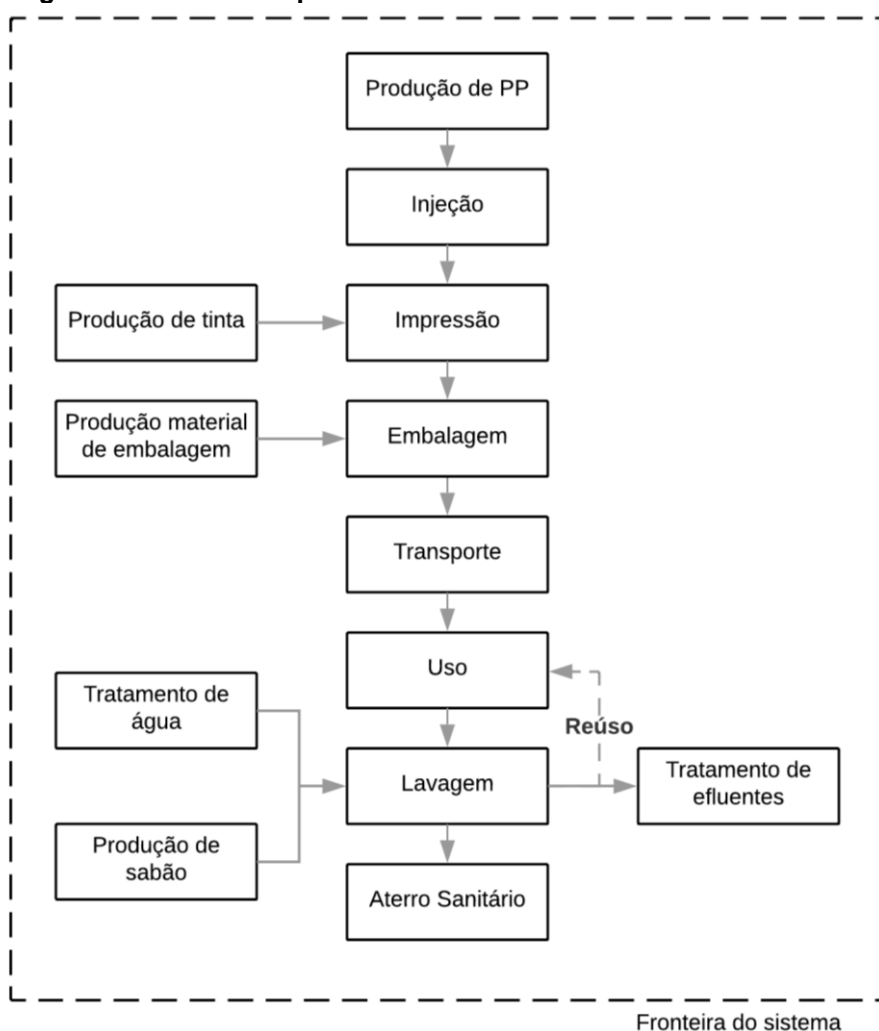
As unidades de processo que compõem o sistema de produto do copo plástico reutilizável de PP são as seguintes:

- Produção das matérias-primas: polipropileno e tinta;

- Processo de injeção do copo plástico;
- Processo de impressão do rótulo;
- Produção do material de embalagem;
- Embalagem;
- Transporte;
- Utilização do copo plástico, o que inclui a lavagem do copo, a produção de detergente, o tratamento de água e tratamento de águas residuais;
- Destinação final do copo para aterro sanitário.

O sistema de produto está representado na Figura 9:

Figura 9 – Sistema de produto e fronteira



Fonte: Autoria própria.

- Métodos de avaliação de impactos e categorias de impacto avaliadas
- Três métodos foram escolhidos para serem empregados no estudo: IPCC 2013, CML 2001 e ILCD 2016. A escolha deu-se por apresentarem uma abordagem

midpoint, que proporciona menor subjetividade (MENDES; BUENO; OMETTO, 2016, p. 170) e possuírem abrangência de aplicação global para as categorias de impacto avaliadas.

A seleção das categorias de impacto incluídas no estudo baseou-se principalmente na relação com as etapas críticas do ciclo de vida do produto, como a produção de matérias-primas, a fabricação do produto e a sua utilização.

As categorias de impacto avaliadas foram:

- a) Esgotamento de recursos minerais, fósseis e renováveis: avalia a quantidade de recursos esgotados em comparação com a reserva disponível. O fator de caracterização é expresso em quilograma de antimônio equivalente por quilograma de extração (kg Sb eq.) (JOINT RESEARCH CENTRE, 2011).
- b) Potencial de aquecimento global: avalia a contribuição de determinadas substâncias para a absorção de calor irradiado pela superfície terrestre, podendo ocasionar aumento da temperatura média global e mudanças climáticas repentinas. O fator de caracterização é expresso em quantidade de dióxido de carbono equivalente (kg CO₂ eq.) (ARDUIN, 2013, p. 60).
- c) Potencial de eutrofização: avalia o enriquecimento de nutrientes na água ou no solo, principalmente por compostos de fósforo e nitrogênio, capaz de acarretar alterações nos ecossistemas, preferencialmente em ambientes aquáticos, como consequência da diminuição da concentração de oxigênio no meio. O fator de caracterização utilizado é quantidade de óxido de nitrogênio equivalente (kg NO_x eq.) (PRESUMIDO, 2017, p. 29).

A interpretação desses resultados pode indicar os processos que mais impactam cada categoria, propiciando mudanças que visem à redução dos potenciais de impactos (OMETTO, 2005, p. 106).

- Requisitos dos dados

Os dados de inventário relativos às entradas e saídas dos processos de produção do copo são primários e foram recolhidos junto à empresa fabricante do produto. Os demais dados foram obtidos de fontes secundárias, a partir de trabalhos técnicos e do banco de dados Ecoinvent 3.3, com o uso do *software* Umberto.

Os dados retratam a realidade média das tecnologias aplicadas nos processos e materiais analisados. Procurou-se dar preferência a dados nacionais, entretanto na falta destes foram usados dados que representem a mesma tecnologia, porém sem uma correlação geográfica.

- Limitações

Podem ser citadas como limitações a falta de dados primários e a utilização de dados secundários, provenientes de banco de dados, que não refletem por completo a realidade brasileira. Além disso, também não há uma metodologia de AICV exclusiva para o cenário do Brasil.

Outra limitação é que o pigmento que é adicionado ao polipropileno no processo de injeção para dar a cor desejada ao copo não foi considerado, por não haver um item correspondente na base de dados Ecoinvent 3.3. Porém, como a sua contribuição em massa é de apenas 2% da massa de polipropileno, presumiu-se que não compromete o estudo.

Por falta de dados, os processos de transporte do PP, transporte da tinta, transporte da caixa de papelão ondulado e transporte do copo para o aterro sanitário não foram incluídos. Apenas o transporte do produto acabado até o consumidor final foi considerado no estudo.

Os dados referentes às quantidade de água e detergente utilizados na lavagem foram retirados de estudos, porém o ideal seria realizar uma amostragem e medição desses.

Na etapa de disposição final, não foi considerada a alternativa de reciclagem da caixa de papelão e do copo plástico.

- Tipo de análise crítica

A análise crítica deste estudo foi realizada a partir de consultas a especialistas em ACV da UTFPR câmpus Ponta Grossa.

- Tipo e formato do relatório requerido para o estudo

Os resultados são apresentados neste trabalho de conclusão de curso, de acordo com a estrutura metodológica de um estudo de ACV proposto pela norma ISO 14040 e ISO 14044 (ABNT, 2009a, 2009b).

4.2 ANÁLISE DE INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA

- Produção de matéria-prima

Os copos plásticos avaliados no estudo são feitos de polipropileno e tinta, a qual é empregada na impressão do rótulo. Os dados da produção de ambas matérias-primas foram retirados da base de dados Ecoinvent 3.3, os quais estão descritos no Apêndice A.

- Produção dos copos plásticos

Os copos de polipropileno foram produzidos pelo processo de injeção, seguido da impressão do rótulo. Os dados referentes às quantidades de polipropileno e tinta utilizados nos processos foram fornecidos pela empresa fabricante do produto, assim como a quantidade de resíduos gerados. Assumiu-se a reciclagem interna dos resíduos da produção dos copos plásticos, por ser o método mais frequente de produção.

Quadro 3 – Inventário do processo de produção dos copos plásticos

Produção dos copos plásticos			
Processo	Matéria-prima	Quantidade (kg)	Fonte
Injeção	Polipropileno	5,997E-2	Primária
Impressão	Tinta	3E-5	Primária

Fonte: Autoria própria.

- Embalagem

Após o processo de fabricação, os copos plásticos são embalados manualmente em caixas de papelão ondulado, com capacidade de armazenamento de 350 copos por caixa. Os dados referentes à etapa de embalagem também foram fornecidos pela empresa fabricante do produto. Já os dados do processo de produção da embalagem foram retirados do Ecoinvent 3.3.

Quadro 4 – Inventário do processo de embalagem dos copos plásticos

Processo de embalagem		
Entrada	Quantidade (kg)	Fonte
Caixa de papelão ondulado	0,560	Primária

Fonte: Autoria própria.

- Distribuição

Para avaliar o impacto do transporte entre a empresa produtora do copo e o mercado consumidor, foi considerada a distância de São José dos Pinhais – PR até Ponta Grossa – PR. Os dados relacionados à etapa de transporte são provenientes do banco de dados Ecoinvent 3.3. O meio de transporte escolhido foi o caminhão, classe de tamanho 16-32 toneladas de peso bruto do veículo (PBT) e classe de emissões Euro 3.

Quadro 5 – Inventário do processo de distribuição dos copos plásticos

Distribuição			
Origem	Destino	Distância (km)	Fonte
São José dos Pinhais – PR	Ponta Grossa – PR	141	Google Maps

Fonte: Autoria própria.

- Uso e destinação final dos resíduos

Para a etapa de uso, considerou-se que o copo plástico reutilizável é lavado manualmente todas as vezes após ser utilizado e é destinado para o aterro sanitário após o final de sua vida útil. A destinação em aterro sanitário pode ser considerada como final de vida, devido à lenta decomposição dos polímeros.

O efluente gerado na lavagem do copo após cada um de seus usos foi destinado para uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da cidade de Ponta Grossa - PR. No processo de tratamento a tecnologia utilizada é o reator UASB, um reator anaeróbico de fluxo ascendente em manto de lodo, onde ao final o efluente tratado é descartado ao ambiente (ROSS et al., 2015). Os dados do processo de tratamento de efluentes foram retirados do banco de dados Ecoinvent 3.3.

Quadro 6 – Inventário do processo de uso dos copos plásticos

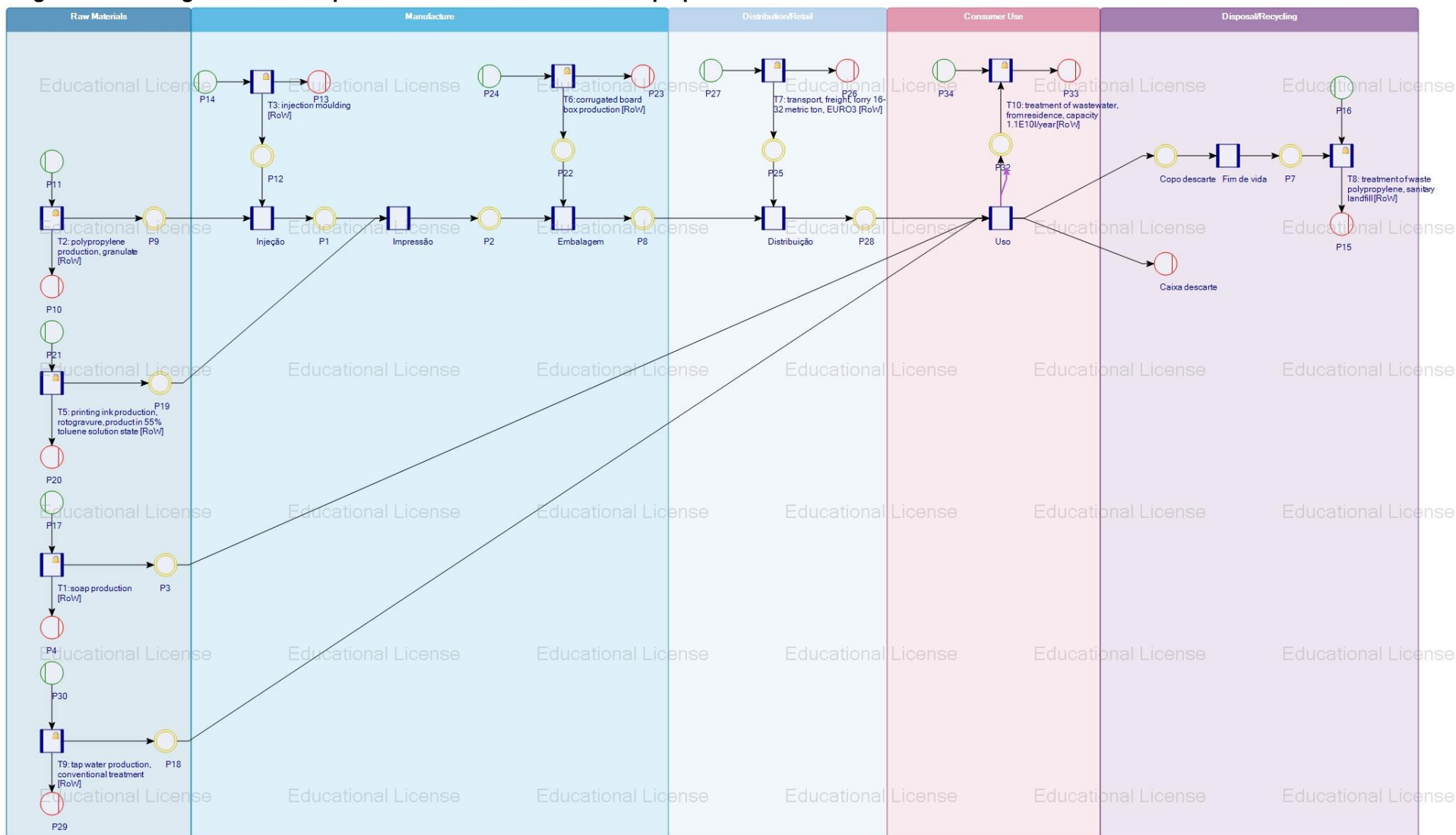
Uso		
Entradas	Quantidade	Fonte
Água	1384 L	Relatório de ensaio (L.A. FALCÃO BAUER LTDA, 2014)
Detergente	0,288 L	Calculado

Fonte: Autoria própria.

4.3 AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO CICLO DE VIDA

Com auxílio do *software* Umberto, foi possível construir o diagrama apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Fluxograma obtido a partir do software Umberto do copo plástico



Fonte: Autoria própria.

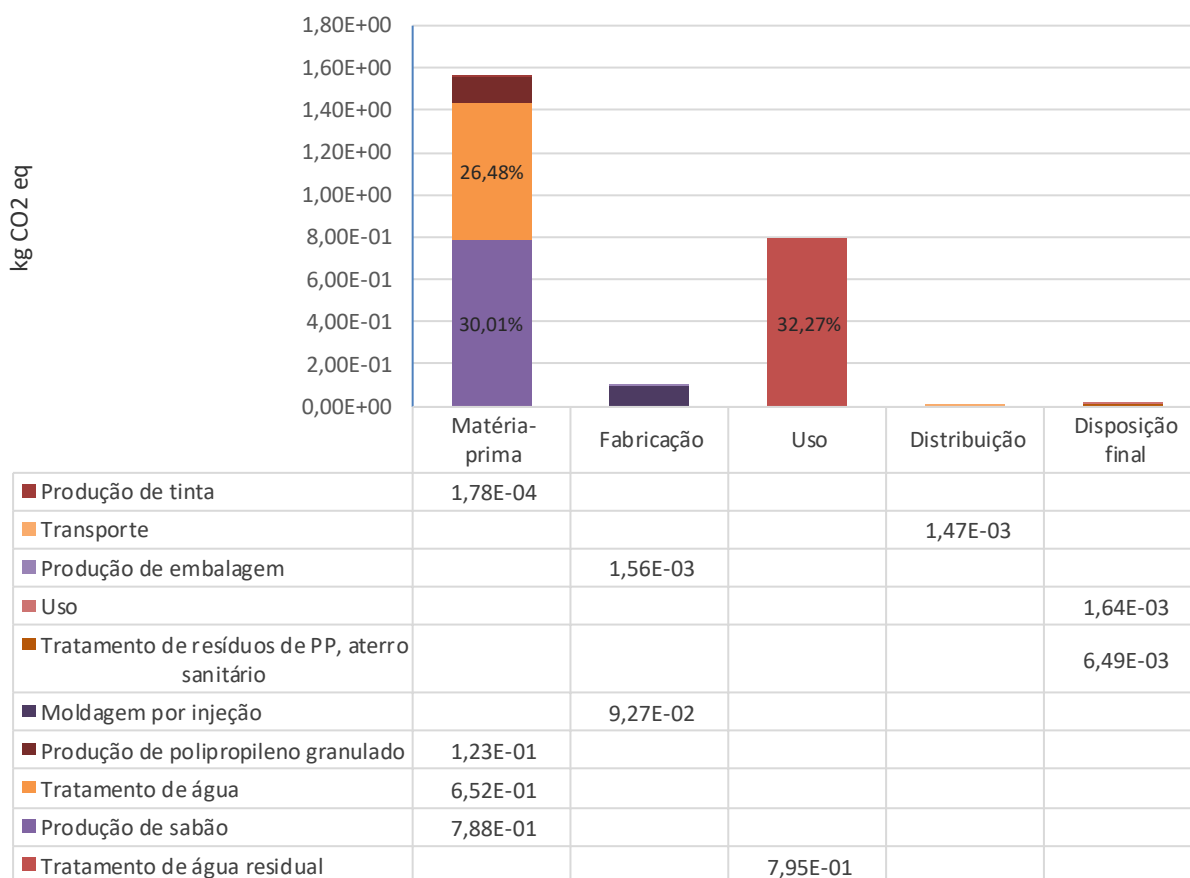
A Figura 10 mostra o ciclo de vida avaliado para o copo plástico descartável, com as unidades de processo consideradas no sistema e todas as entradas e saídas referentes a cada uma destas etapas.

A seguir, são discutidos os resultados referentes aos impactos potenciais para o produto avaliado, considerando as categorias de impacto ambiental e métodos escolhidos.

4.3.1 Potencial de Aquecimento Global

Para avaliar a categoria potencial de aquecimento global, utilizou-se o método IPCC 2013. O Gráfico 1 mostra os resultados dos impactos para o aquecimento global, separados pelas fases do ciclo de vida e pelas respectivas unidades de processo do sistema de produção do copo plástico reutilizável.

Gráfico 1 – Potencial de aquecimento global por etapa do ciclo de vida

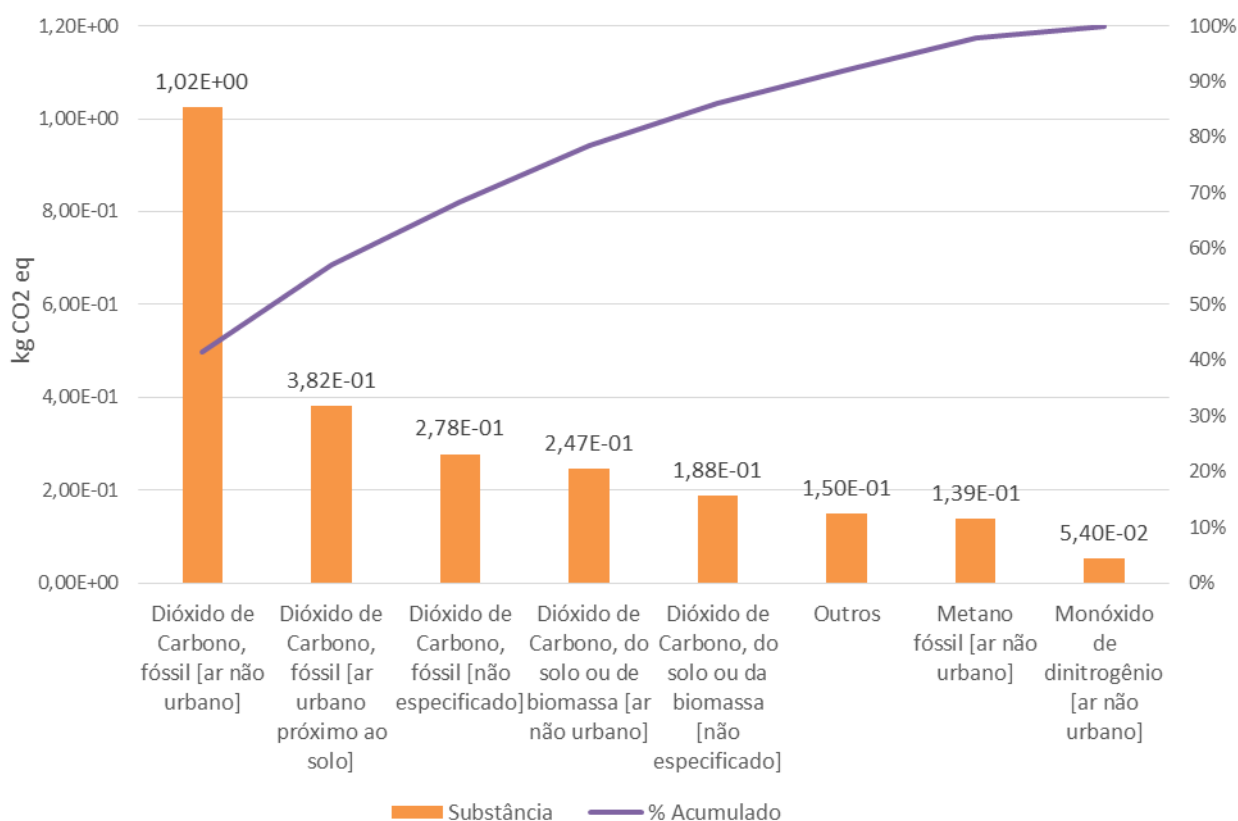


Fonte: Autoria própria.

O impacto total do sistema de produto avaliado é de 2,462 kg CO₂ eq., e por meio do Gráfico 1, é possível notar que as fases de produção de matérias-primas e uso foram as que mais contribuíram para o potencial de aquecimento global, correspondendo a 95,78% dos impactos do sistema. Também é possível verificar que os processos mais críticos são o tratamento de água residual (32,27%), a produção de sabão (32,01%) e o tratamento da água (26,48%).

Já o Gráfico 2 mostra as principais substâncias emitidas (em kg CO₂ eq.) pelo sistema de produto, segundo o IPCC 2013, assim como a respectiva quantidade relativa (em %) para essas substâncias.

Gráfico 2 – Impacto relativo das principais substâncias pelo IPCC 2013



Fonte: Autoria própria.

De acordo com o Gráfico 2, percebe-se que a principal substância emitida para o ambiente foi o dióxido de carbono (CO₂), a qual representa 86,04% das emissões. Deste percentual, 68,38% é CO₂ fóssil, proveniente principalmente dos processos de tratamento de água residual (39,20%), tratamento de água (34,30%) e da produção de sabão (15,39%). O CO₂ é gerado nos tratamentos de águas

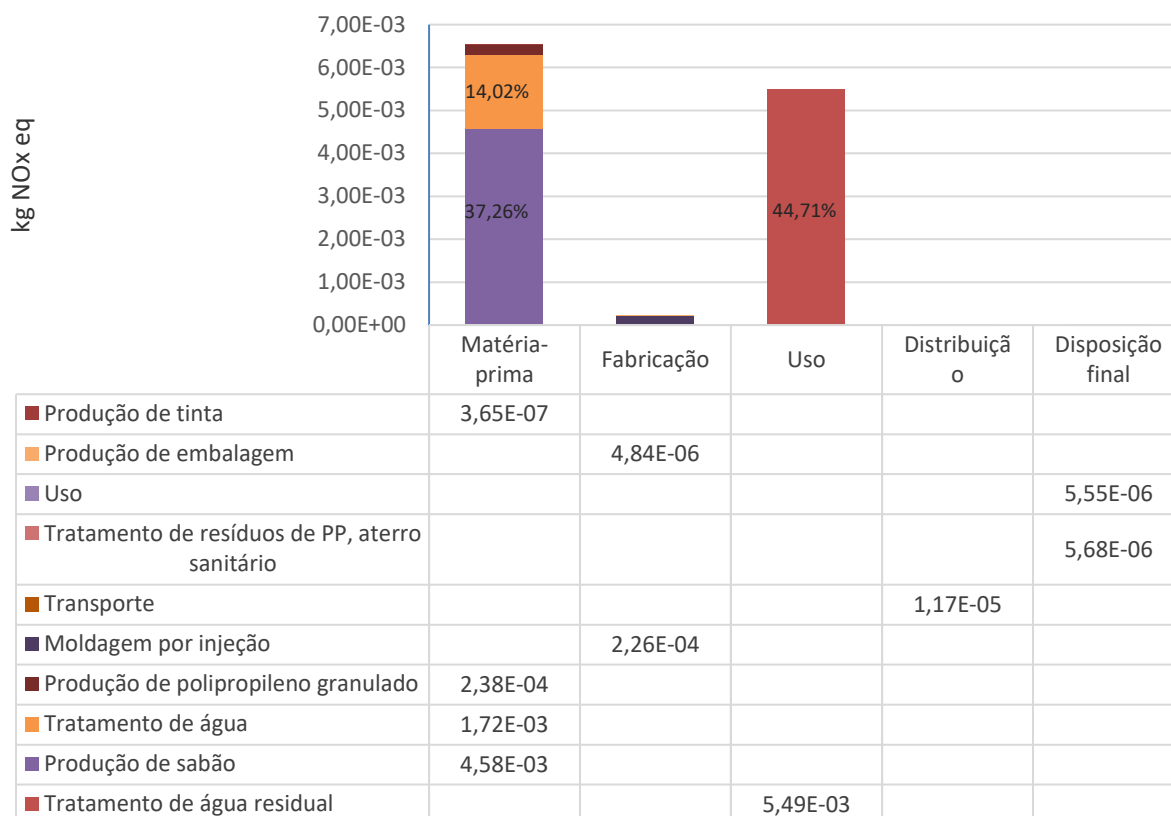
residuais sobretudo pela queima de metano, gerado nos sistemas de tratamento anaeróbio (LOPES et al., 2011, p. 3), e no tratamento de água a sua geração está associada aos consumos energéticos na estação de tratamento (SOUSA, 2009, p. 6).

Já a parcela de 17,66% das emissões de CO₂ do solo ou de biomassa provêm quase inteiramente do processo de produção de sabão (99,36%), ocorridas durante as práticas de manejo do solo para obtenção do óleo vegetal, matéria-prima do sabão.

4.3.2 Potencial de Eutrofização

Para avaliar a categoria de impacto potencial de eutrofização, o método CML 2001 foi empregado.

O Gráfico 3 exhibe os resultados dos impactos para eutrofização, separados pelas fases do ciclo de vida e pelas respectivas unidades de processo do sistema de produção.

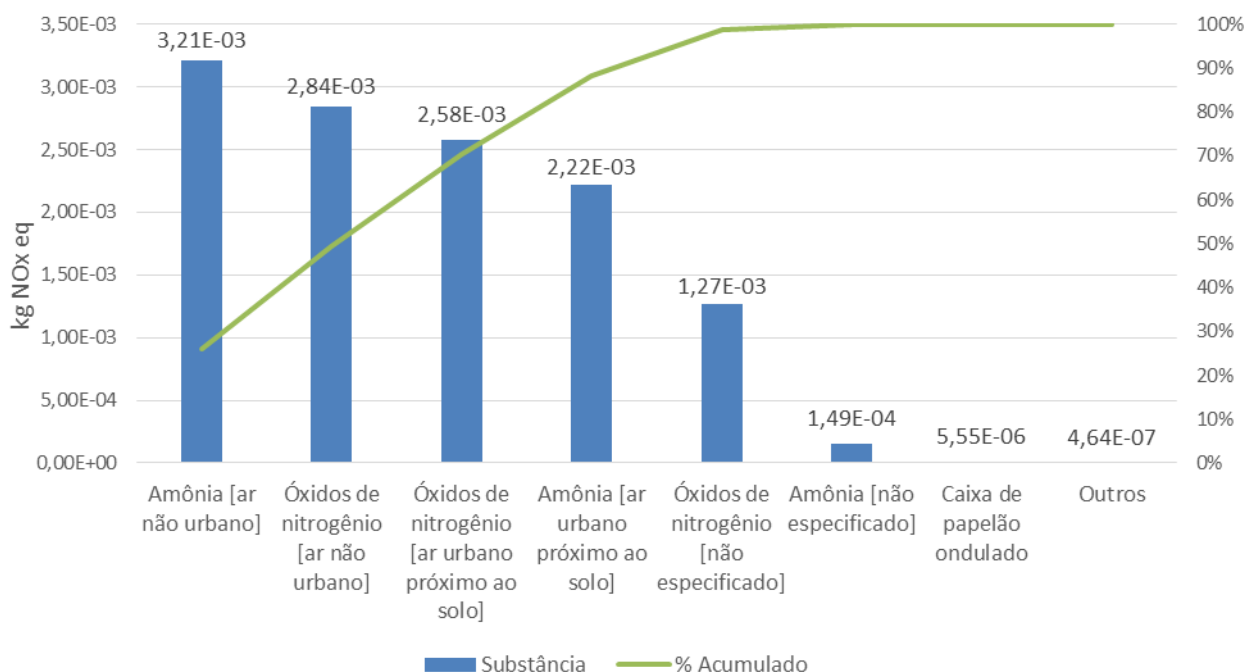
Gráfico 3 – Potencial de eutrofização por etapa do ciclo de vida

Fonte: Autoria própria.

Temos que o impacto total do sistema é de 0,012 kg NO_x eq., e por meio do Gráfico 3, percebe-se que as fases de produção de matérias-primas e uso foram as que mais contribuíram para o potencial de eutrofização, correspondendo a 97,93% dos impactos do sistema do copo plástico reutilizável. Também é possível verificar que os processos mais críticos são o tratamento de água residual (44,71%), a produção de sabão (37,26%) e o tratamento da água (14,02%).

Já o Gráfico 4 mostra as principais substâncias emitidas pelo sistema de produto (em kg NO_x eq.), assim como a sua respectiva quantidade relativa (em %).

Gráfico 4 – Impacto relativo das principais substâncias pelo CML 2001



Fonte: Autoria própria.

De acordo com o Gráfico 4, percebe-se que a amônia e o óxido de nitrogênio contribuem com 99,95% das emissões que causam a eutrofização. A amônia representa 45,42% desse percentual, sendo a amônia [ar não urbano] é proveniente principalmente da produção de sabão (99,31%), devido ao uso de reagentes como o hidróxido de amônio, enquanto a amônia [ar urbano próximo ao solo] é gerada no tratamento de águas residuais (96,52%), pelo desprendimento do gás amônia presente no líquido das lagoas de polimento para a atmosfera, através da volatilização ou dessorção (ASSUNÇÃO, 2009, p. 16).

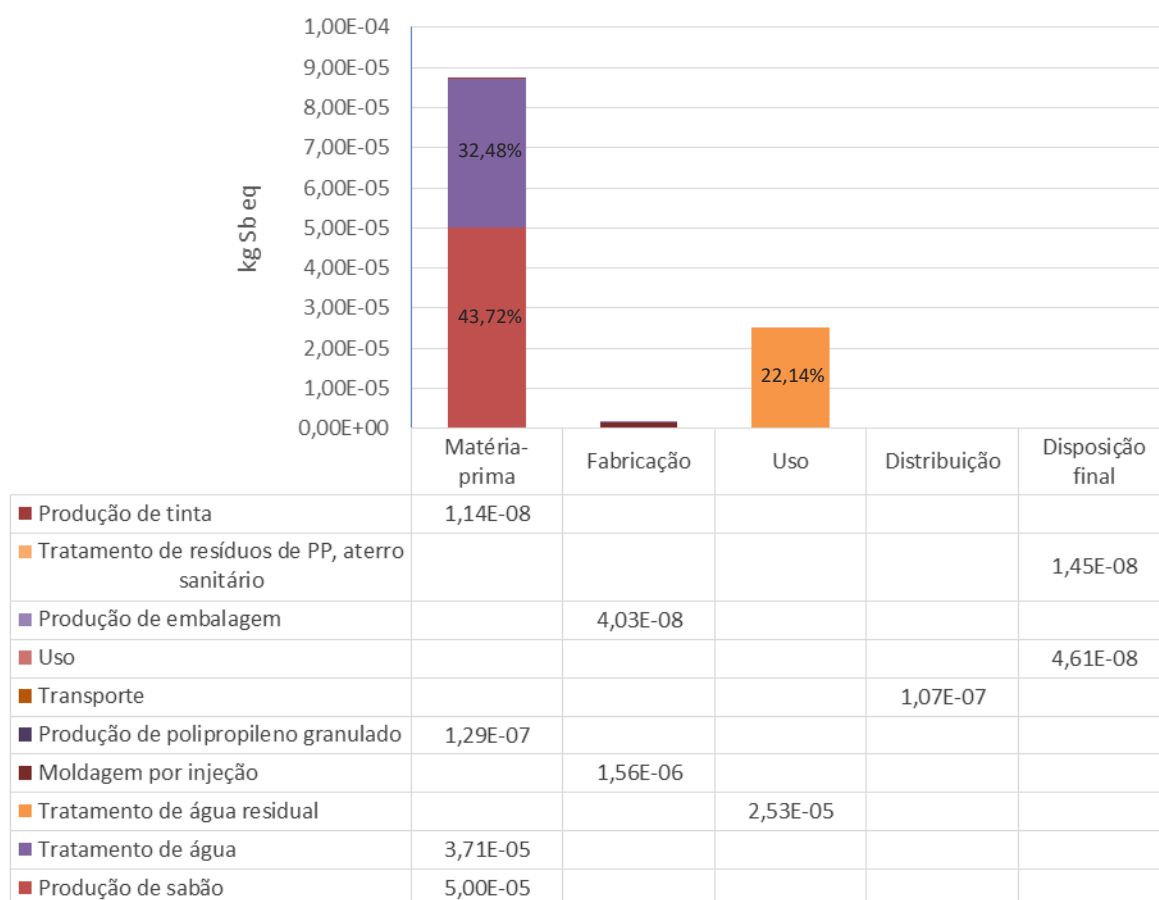
Já a parcela de 54,53% das emissões óxido de nitrogênio provêm dos processos de tratamento de água residual (48,76%), tratamento de água (24,82%) e produção de sabão (19,32%). Nos tratamentos de água, uma parte dos nitratos presentes no líquido é lançada novamente à atmosfera na forma de gás nitrogênio, pelo processo de desnitrificação, que ocorre devido à ação de bactérias (RUGGERI JÚNIOR, 2011, p. 37).

4.3.3 Esgotamento de Recursos

Foi utilizado o método ILCD 2016 para avaliar a categoria de impacto esgotamento de recursos minerais, fósseis e renováveis.

O Gráfico 5 mostra os resultados dos impactos, separados pelas fases do ciclo de vida e pelas respectivas unidades de processo do sistema de produção.

Gráfico 5 – Esgotamento de recursos por etapa do ciclo de vida

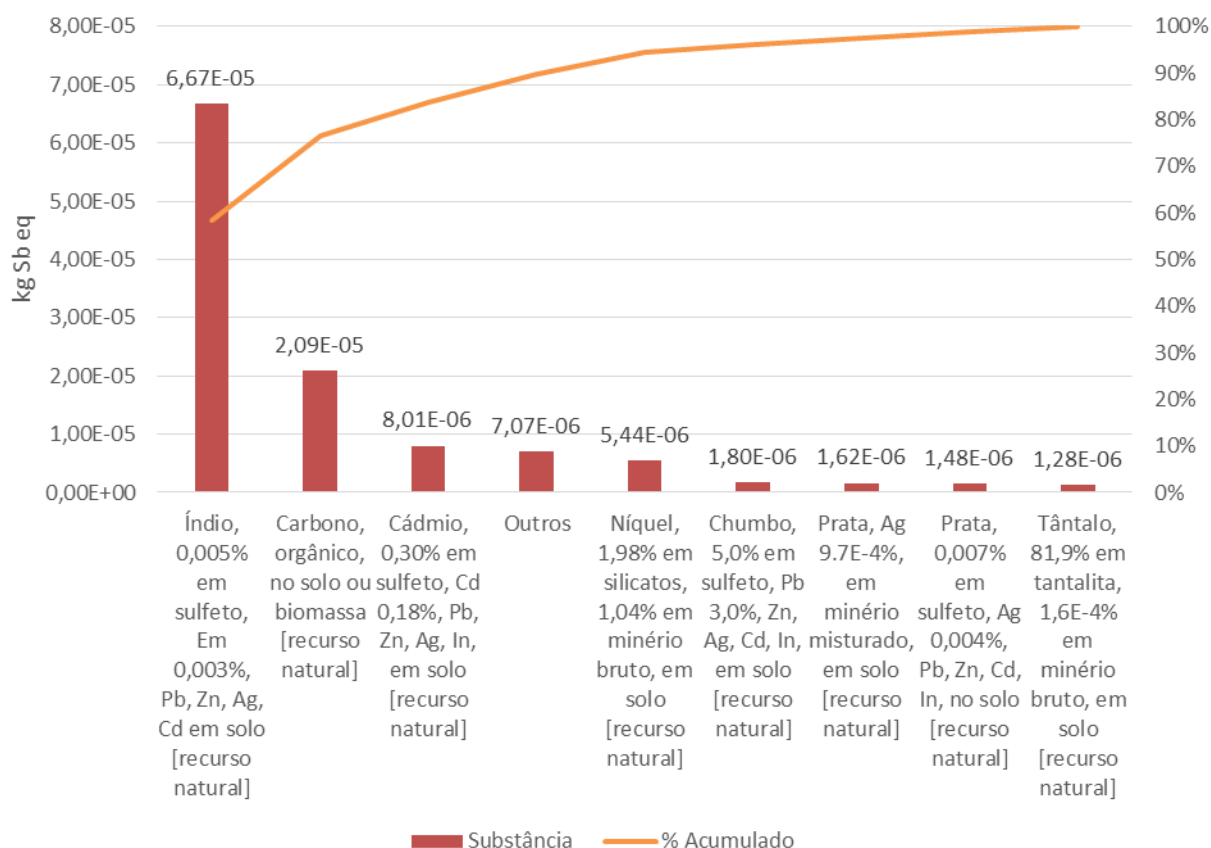


Fonte: Autoria própria.

O impacto total do sistema é de $1,143 \times 10^{-4}$ kg Sb eq., e ao analisar o Gráfico 5, é possível observar que as etapas de produção de matérias-primas e uso apresentam as maiores contribuições para a categoria, correspondendo a 98,45% dos recursos utilizados no sistema. Também é possível verificar que os processos que mais utilizam recursos são a produção de sabão (43,72%), o tratamento da água (32,48%) e tratamento de água residual (22,14%).

O Gráfico 6 exibe as principais substâncias (em kg Sb eq.) consumidas pelo sistema de produto, conforme o ILCD 2016, assim como a respectiva quantidade relativa (em %) para essas substâncias.

Gráfico 6 – Impacto relativo das principais substâncias pelo ILCD 2016



Fonte: Autoria própria.

De acordo com o Gráfico 6, percebe-se que 3 substâncias contribuem com 83,65% para o esgotamento de recursos, sendo que o sulfeto de índio representa 58,38%, o carbono orgânico 18,27% e o sulfeto de cádmio 7,01%.

4.3.4 Diagrama Sankey

Os resultados também podem ser apresentados através do diagrama de Sankey. Esse diagrama é um tipo específico de fluxograma, no qual a largura das setas é proporcional à quantidade do fluxo. São utilizados para visualizar energia e

transferência de materiais entre processos, por setas distintas (SURGELAS; ROMAN, 2010, p. 4).

A Figura 11 mostra um diagrama de Sankey para o sistema de produto em estudo. Nesse caso, ele foi usado para demonstrar de forma visual os principais fluxos de materiais entre as unidades de processo.

O diagrama de Sankey da Figura 11 ilustra uma grande quantidade de material da fluindo da unidade de processo de tratamento de água em direção à fase de uso. Isso ocorreu devido ao grande volume de água necessário para a lavagem dos copos plásticos durante o uso, considerando que a sua vida útil é de 800 utilizações. Assim, se comparado aos demais, o fluxo de água tratada é consideravelmente o mais representativo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante as últimas décadas, passou-se a exigir das IES a incorporação de princípios e práticas sustentáveis em todas as suas ações. Nesse contexto, um número crescente de instituições começou a incluir a sustentabilidade em seus currículos, pesquisas e operações.

A UTFPR câmpus Ponta Grossa está caminhando nesse sentido, incorporando a temática tanto na questão educacional, quanto na adoção de práticas relacionadas à integração da sustentabilidade em sua gestão e nos seus espaços físicos. Uma das ações tomadas foi a adoção de copos plásticos reutilizáveis no RU da instituição, em substituição aos copos plásticos descartáveis.

Com o propósito de conhecer o desempenho ambiental do copo plástico reutilizável, este trabalho propôs analisar o ciclo de vida do produto recém-adotado, utilizando a técnica da ACV. A ACV do copo plástico reutilizável foi realizada com o auxílio do *software* Umberto, avaliando os impactos potenciais de três categorias de impacto, empregando três diferentes métodos de AICV.

Ao avaliar o potencial de aquecimento global pelo método IPCC 2013, vê-se que os processos mais críticos são o tratamento de água residual (32,27%), a produção de sabão (32,01%) e o tratamento da água (26,48%). A substância que mais contribui para esse impacto é o dióxido de carbono, com 86,04%, sendo estes três processos responsáveis por 91,16% das emissões.

Já o potencial de eutrofização foi avaliado pelo método CML 2001, sendo o tratamento de água residual (44,71%), a produção de sabão (37,26%) e o tratamento da água (14,02%) os processos que mais contribuíram para os impactos, representando 97,93%. As substâncias amônia e óxido de nitrogênio contribuem com 99,95% das emissões que causam a eutrofização, sendo os três processos citados acima responsáveis por 96,04% das emissões.

Ao avaliar o esgotamento de recursos pelo método ILCD 2016, percebe-se que os processos que mais contribuem são a produção de sabão (43,72%), o tratamento da água (32,48%) e tratamento de água residual (22,14%), totalizando 98,33%. Quanto às substâncias mais representativas, o sulfeto de índio (58,38%), o carbono orgânico (18,27%) e o sulfeto de cádmio (7,01%) totalizam 83,65% desses recursos.

Para as três categorias de impacto avaliadas, conclui-se que a etapa de maior impacto no ciclo de vida é a produção de matérias-primas, principalmente devido ao processo de produção de sabão e ao tratamento de água. Esse resultado está associado à elevada quantidade de água e detergente necessários para as 800 utilizações consideradas no sistema de produto.

Já etapa de uso é a segunda que mais contribui para os impactos no ciclo de vida, em decorrência do processo de tratamento de água residual, o que está relacionado ao número de lavagens do copo e ao alto volume de efluentes gerados.

Com a identificação dos processos e dos aspectos ambientais que mais influenciam negativamente os resultados do copo plástico reutilizável, é possível sugerir algumas medidas para a redução desses impactos. Com a finalidade de reduzir os impactos da produção de sabão, uma opção seria o controle da quantidade de detergente utilizado a cada lavagem, além da escolha de um detergente que apresente rendimento e desempenho ambiental superior ao considerado no estudo. Em relação ao processo de tratamento de água, é fundamental a conscientização da comunidade acadêmica para a redução de seu consumo nas lavagens e a utilização de dispositivos acoplados à torneira que controlem o fluxo de água, como por exemplo, arejadores e temporizadores. Já para reduzir os impactos do tratamento de águas residuais, sugere-se a reutilização da água da lavagem dos copos para a limpeza geral e lavagem de pisos. Como a água seria utilizada em outro processo, por meio da expansão de fronteiras, os impactos do sistema do produto seriam diminuídos.

Desta forma, o estudo atingiu os seus objetivos de avaliar o ciclo de vida do copo plástico reutilizável e identificar oportunidades de melhorias ambientais. Trabalhos futuros poderão realizar comparações ambientais com outros recipientes de mesma função e produzidos com diferentes materiais, tendo em vista indicar o produto que apresente o melhor desempenho ambiental e auxiliar os tomadores de decisão da UTFPR a buscar a opção mais adequada.

Outra sugestão é realizar uma ACV comparativa entre o copo plástico reutilizável e os copos plásticos descartáveis que eram usados no RU da UTFPR câmpus Ponta Grossa, visando identificar os potenciais impactos ambientais relacionados às alternativas e confirmar se a substituição reduziu os impactos ambientais.

Além disso, é possível aprimorar este trabalho explorando as limitações apontadas, incluindo os processos que não foram considerados, a opção de fim de vida de reciclagem para o copo plástico reutilizável e a caixa de papelão ondulado, além de obter dados da quantidade de água e detergente usados na lavagem por meio de medições. Outras sugestões para trabalhos posteriores seriam incluir métodos de AICV, utilizar outras categorias de impacto pertinentes e realizar uma análise de completeza, sensibilidade e consistência dos dados de inventário.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Fernanda C. **O papel das instituições de educação superior na gestão voltada para a sustentabilidade: uma análise da Universidade Federal do Tocantins a partir do Plano de Gestão de Logística Sustentável.** 2015.143 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação Profissional em Gestão de Políticas Públicas, Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2015.

ANDERBERG, Elsie; NORDÉN, Birgitta; HANSSON, Birgit. Global learning for sustainable development in higher education recent trends and a critique. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 10, n. 4, p. 368-378, mar. 2009.

ARDUIN, Rachel H. **Avaliação do ciclo de vida de produtos têxteis: implicações da alocação.** 2013. 100 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14040:** Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009a.

_____. **NBR ISO 14044:** Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009b.

ASSUNÇÃO, Fernando A. L. de. **Estudo da remoção de nitrogênio, com ênfase na volatilização de amônia, em lagoas de polimento de efluentes de reatores uasb tratando esgotos urbanos de Belo Horizonte/MG.** 2009. 89 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA. **Histórico.** Brasília, [2018?]. Disponível em: <<http://acv.ibict.br/sobre/historico/>>. Acesso em: 03 jul. 2018.

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA. **O que é SICV Brasil?** Brasília, [2018?]. Disponível em: <<http://acv.ibict.br/banco-nacional/o-que-e-sicv/>>. Acesso em: 03 jul. 2018.

BARBIERI, José C. **Gestão ambiental empresarial: conceitos modelos e instrumentos.** 2 ed. São Paulo: Saraiva, 2008.

BOFF, Leonardo. **Sustentabilidade: O que é – O que não é.** Petrópolis: Vozes, 2012.

BRITO, Jacqueline S. **Proposta de gestão ambiental para o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, câmpus Teresina Central.** 2015. 260 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2015.

CALLISTER JR, William D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução.** 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CARVALHO, Giovanna M. X. de et al. Obtenção de compósitos de resíduos de ardósia e polipropileno. **Polímeros: ciência e tecnologia**, São Carlos, v. 17, n. 2, p. 98–103, 2007.

CHEHEBE, José R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

CÓFFANI-NUNES, Klaudio. **Sustentabilidade Ambiental das Universidades: Avaliação de seis universidades sediadas no estado de São Paulo a partir da análise das informações em seus websites.** 2012. 113 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2012.

COLTRO, Leda. **Avaliação de ciclo de vida como instrumento de gestão.** Campinas: CETEA/ITAL, 2007.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum.** 2. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991.

EUROPEAN COMMISSION, JOINT RESEARCH CENTRE, INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND SUSTAINABILITY. **Characterisation factors of the ILCD recommended life cycle impact assessment methods: Database and supporting information.** 1 ed. Publications Office of the European Union. Luxembourg: 2012.

FIGUEIRÊDO, Maria C. B. et al. Métodos de avaliação do desempenho ambiental de inovações tecnológicas agroindustriais. **Revista Espacios**, Caracas, v. 31, n. 4, 2010.

FINKBEINER, Matthias et al. The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 11, n. 2, p. 80-85, fev. 2006.

GAIDAJIS, Georgios; ANGELAKOGLU, Komninos. Screening life cycle assessment of an office used for academic purposes. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 19, n. 14, p. 1639-1646, set. 2011.

GERHARDT, Tatiana E.; SILVEIRA, Denise T. **Métodos de pesquisa**. 1 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, Antônio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 1991.

GUINÉE, Jeroen B. et al. Life cycle assessment: past, present, and future. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 45, n. 1, p. 90-96. 2011.

HERSHAUER, James C.; BASILE, George; MCNALL, Scott G. **The business of sustainability: trends, policies, practices and stories of success**. California: Praeger, 2011.

HOFFMAN, Andrew J. **Competitive environmental strategy: A guide to the changing business landscape**. Washington, DC: Island Press, 2000.

HORNE, Ralph; GRANT, Tim; VERGHESE, Karli. **Life cycle assessment: principles, practice and prospects**. Melbourne: CSIRO Publishing, 2009.

JOINT RESEARCH CENTRE. **LCIA Method Data set: ILCD2011; Resource depletion- mineral, fossils and renewables**. Leiden, 2011. Disponível em: <<http://eplca.jrc.ec.europa.eu/ELCD3/datasetdetail/lciamethod.xhtml?lang=en&uuid=b7d61a6f-cb2f-4a46-b511-39c3e4cc31d3&version=01.01.000>>. Acesso em: 29 mai. 2018.

L. A. FALCÃO BAUER LTDA. **Relatório de ensaio Nº QUI/L-240.944/2/A/14**. São Paulo, 2014. Disponível em: <http://ptdocz.com/doc/33347/l-240944_2a-14qui---reckitt_finish_39188>. Acesso em: 05 mai. 2018.

LARA, Pedro T. de R. Sustentabilidade em instituições de ensino superior. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria (RS), v. 7, n. 7, p. 1646–1656, mar./jun. 2012.

LIMA, Ângela M. F. **Avaliação do ciclo de vida no Brasil** – inserção e perspectivas. 2007. 116 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2007.

LO-IACONO-FERREIRA, Vanesa G.; TORREGROSA-LÓPEZ, Juan I.; CAPUZ-RIZO, Salvador F. Use of Life Cycle Assessment methodology in the analysis of Ecological Footprint Assessment results to evaluate the environmental performance of universities. **Journal of Cleaner Production**. Oxford, v. 133, p. 43-53, out. 2016.

LOPES, Alexandre de O. et al. Produção de metano em estações de tratamento de esgotos e cogeração de energia elétrica: um estudo de caso na ETE em Passos – MG. In: XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2011, Belo Horizonte. **Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual: Desafios da Engenharia de Produção na Consolidação do Brasil no Cenário Econômico Mundial**. São Paulo: ABEPRO, 2011. p. 1-15.

LOZANO, Rodrigo. The state of sustainability reporting in universities. **International Journal of Sustainability in Higher Education**. Hamburg, v. 12, n. 1, p. 67-78, 2011.

LUZ, Leila M. da. **Proposta de modelo para avaliar a contribuição dos indicadores obtidos na análise do ciclo de vida sobre a geração de inovação na indústria**. 2011. 165 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2011.

MANO, Eloisa B.; MENDES, Luís C. **Introdução a polímeros**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

MARINHO, Maerbal B. **Universidades e sustentabilidade**. Uma pesquisa em Instituições de Educação Superior Brasileiras. 2014. 181 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2014.

MENDES, Natalia C. **Métodos e modelos de caracterização para avaliação de impacto do ciclo de vida: análise e subsídios para a aplicação no Brasil**. 2013. 147 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2013.

MENDES, Natalia C.; BUENO, Cristiane; OMETTO, Aldo R. Avaliação de impacto do ciclo de vida: revisão dos principais métodos. **Production**, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 160-175, jan./mar. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **A história da A3P**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/destaques/item/8852>>. Acesso em: 22 mai. 2017.

NIGRI, Elbert M. **Análise comparativa do ciclo de vida de produtos alimentícios industriais e artesanais da culinária mineira**. 2012. 232 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012.

OLINZOCK, Maureen A. et al. Life cycle assessment use in the North American building community: summary of findings from a 2011/2012 survey. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 20, n. 3, p. 318-331, mar. 2015.

OMETTO, Aldo R. **Avaliação do ciclo de vida do álcool etílico hidratado combustível pelos métodos EDIP, Exergia e Emergia**. 2005. 200 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia (Hidráulica e Saneamento), Universidade de São Paulo. São Carlos, 2005.

PRESUMIDO, Pedro H. **Impactes ambientais da cadeia produtiva de carne bovina do nordeste de Portugal usando uma abordagem de avaliação do ciclo de vida**. 2017. 105 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Bragança. Bragança, 2017.

RALPH, Meredith; STUBBS, Wendy. Integrating environmental sustainability into universities. **Higher Education**, Dordrecht, v. 67, n. 1, p. 71-90, jan. 2014.

RIBEIRO, Paulo H. **Contribuição ao banco de dados brasileiro para apoio à avaliação do ciclo de vida: fertilizantes nitrogenados.** 2009. 341 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Química, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

ROSS, Bárbara Z. L. et al. Impacto da incorporação de espuma em lodo de esgoto com fins agrícolas. **Revista DAE**, São Paulo, v. 203, p. 6-18, set./dez. 2016.

RUGGERI JÚNIOR, Humberto C. **Pós-tratamento de efluente de lagoa facultativa visando à remoção de nitrogênio amoniacal.** 2011. 364 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

SAAVEDRA, Yovana M. B. et al. Sustainability into the University of Sao Paulo (USP), São Carlos Engineering School (EESC) — Brazil. In: LEAL FILHO, Walter et al. (orgs). **Integrating Sustainability Thinking in Science and Engineering Curricula: innovative approaches, methods and tools.** Switzerland: Springer International Publishing, 2015. p. 265-279.

SEO, Emilia S. M.; KULAY, Luiz A. Avaliação do ciclo de vida: ferramenta gerencial para tomada de decisão. **InterfaceEHS – Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, São Paulo, v.1, n.1, ago. 2006.

SILVA, Diogo A. L. **Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil.** 2012. 207 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012.

SOUSA, Ana L. S. **Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida a duas Estações de Tratamento de Água da região Norte: ETA de Queimadela e ETA de Areias de Vilar.** 2009. 67 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Do Porto. Porto, 2009.

SURGELAS, Vladimir; ROMAN, Humberto. Inventário do ciclo de vida de um metro quadrado de parede com blocos de resíduos de construção e demolição até 20 anos de uso em comparação ao bloco de concreto. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUIDO, 13., 2010, Canela. **Anais eletrônicos...** Canela: ENTAC, 2010. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac/entac2010_artigos.html>. Acesso em: 21 mai. 2018.

TAUCHEN, Joel; BRANDLI, Luciana L. A gestão ambiental em instituições de ensino superior: modelo para implantação em câmpus universitário. **Gestão & Produção**. São Carlos, v. 13, n. 3, p. 503-515, set./dez. 2006.

THE LIFE CYCLE INITIATIVE. **International Life Cycle Partnership for a sustainable world**. 5 jul. 2010. Disponível em: <<http://jp1.estis.net/sites/lcinit>>. Acesso em: 02 mai. 2017.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Life cycle assessment: what it is and how to do it**. 1 ed. Paris: United Nations Publication, 1996.

_____. **Life cycle assessment: A business guide to sustainability**. 2007. Disponível em:<<http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx0889xPALifeCycleManagement>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Life cycle assessment: principles and practice**. Cincinnati: 2006.

VAN DER HARST, Eugenie; POTTING, José; KROEZE, Carolien. Comparison of different methods to include recycling in LCAs of aluminium cans and disposable polystyrene cups. **Waste management**, Nova Iorque, v. 48, p. 565-583, fev. 2016.

VIGNALI, Giuseppe. Environmental assessment of domestic boilers: A comparison of condensing and traditional technology using life cycle assessment methodology. **Journal of cleaner production**, Oxford, v. 142, n. 4, p. 2493–2508, jan. 2017.

ZOCHE, Lidiana. **Identificação das limitações da ACV sob a ótica de pesquisas acadêmicas**. 2014. 108 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2014.

APÊNDICE A - Descrição dos processos incluídos no sistema de acordo com a base de dados Ecoinvent 3.3.

Transporte (*transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 3 [RoW], 2009 – 2016, allocation, cut-off*)

Este conjunto de dados representa o serviço de 1tkm de transporte de carga em um caminhão da classe de tamanho 16-32 toneladas de peso bruto do veículo (PBT) e classe de emissões Euro 3. Os conjuntos de dados de transporte referem-se a todo o ciclo de vida do transporte, ou seja, à construção, operação, manutenção e fim da vida útil das infraestruturas rodoviárias e de veículos. O consumo de combustível e as emissões são para viagens e fatores de carga médios europeus e não representativos de um cenário de transporte específico.

Início das atividades incluídas - De combustão de combustível no motor. O conjunto de dados toma como entrada a infraestrutura de caminhões e rede de estradas, os materiais e esforços necessários para a manutenção destes e o combustível consumido no veículo para o trecho. *From cradle*, ou seja, inclui todas as atividades a montante.

Fim das atividades incluídas - A atividade termina com o serviço de transporte de 1 km e as emissões de gases de escapamento e não-escapamento para o ar, a água e o solo.

Resíduos de PP (*treatment of waste polypropylene, sanitary landfill [RoW], 1994 – 2016, allocation, cut-off*)

Resíduos inventariados contêm 100% PP. Composição dos resíduos (molhado, em ppm): Valor de aquecimento superior 36,16 MJ / kg; menor valor de aquecimento 32,78 MJ / kg; H₂O 159000; O 32454; H 103430; C 694120; S 360.46; N 1095.3; Cl 1234.1; Br 8.0972; F 12.146; As 1.5385; Ba 202.43; Cd 28.663; Co 1.417; Cr 10.526; Cu 34.93; Hg 0.040486; Mn 25.371; Ni 0.80972; Pb 19.079; Sb 8.5021; Se 1.7004; Sn 3.2205; V 1862.4; Zn 288.78; Be 0.40486; Sr 71.661; Ti 809.72; Tl 0.32389; Fe 1295.6; Ca 2186.3; Al 161.94; Mg 80.972; Na 1186.6. Quota de carbono em resíduos biogênicos 0%. Degradabilidade total de resíduos durante 100 anos: 1%.

Início das atividades incluídas – *From cradle*, ou seja, incluindo todas as atividades a montante.

Fim das atividades incluídas – Emissões de curto prazo específicas para os resíduos para a atmosfera, via incineração de gás de aterro e lixiviados de aterro. Sobrecargas do tratamento do lixiviado de curto prazo (0-100a) na estação de tratamento de águas residuais (incluindo a eliminação de lamas de ETAR no incinerador municipal). Emissões a longo prazo de aterros para as águas subterrâneas.

Tratamento de água residual (*treatment of wastewater, from residence, capacity 1.1E10l/year [RoW], 1994 – 2016, allocation, cut-off*)

Águas residuais purificadas em uma estação de tratamento de águas residuais municipais moderadamente grande (classe de capacidade 2), com um tamanho médio de capacidade de 71100 PCE equivalentes per capita.

Início das atividades incluídas – *From cradle*, ou seja, incluindo todas as atividades a montante.

Fim das atividades incluídas – Materiais de infraestrutura para estações de tratamento de águas residuais municipais, transportes, desmantelamento. Encargos do uso da terra.

Produção de detergente (*soap production [RoW], 1992 – 2016, allocation, cut-off*)

Dados baseados no estudo ECOSOL da indústria europeia de surfactantes. Alocações em processos de múltiplas saídas foram feitas, usando as saídas relativas de massa dos produtos.

Início das atividades incluídas – *From cradle*, ou seja, incluindo todas as atividades a montante.

Fim das atividades incluídas – Este módulo contém insumos materiais e energéticos, produção de resíduos e emissões para a produção de sabão a partir de ácidos graxos do óleo de palma e coco. Transportes e infraestrutura foram estimados. Nenhum consumo de água incluído.

Produção de caixa de papelão (*corrugated board box production [RoW], 2008 – 2016, allocation, cut-off*)

A participação entre os insumos reciclados e virgens para o papel corrugado e as camadas lisas baseiam-se na média europeia. Algumas trocas foram adaptadas para levar em conta a contribuição da região de Quebec.

Início das atividades incluídas - O processo começa quando as bobinas de papel corrugado e camadas são alimentadas em uma máquina chamada corrugador. O papel corrugado do meio (recheio) é condicionado com calor e vapor e alimentado entre grandes rolos onduladores que dão ao papel sua forma ondulada no *Single Facer*. O amido é aplicado às pontas das ondas de um lado e o revestimento interior é colado nestas. O recheio com uma camada lisa anexada a ele é chamado rede de face única e viaja ao longo da máquina em direção ao *Double Backer*, onde a face única se encontra com o revestimento externo e forma o papelão corrugado. Várias camadas de rede de face única podem ser construídas para produzir o papelão corrugado de parede dupla e tripla. O cartão canelado é cortado nas larguras necessárias e cortado em folhas que são então empilhadas ou paletizadas. *From cradle*, ou seja, incluindo todas as atividades a montante.

Fim das atividades incluídas - O estágio final do processo consiste em imprimir e depois entalhar, dobrar e colar o papelão ondulado para fabricar uma caixa de papelão ondulado. Cintas (0,51 kg / Mg produto; principalmente feito de plástico) e papel de embalagem (7,3 kg / Mg produto) são excluídos do conjunto de dados.

Injeção (*injection moulding [RoW], 1993 – 2016, allocation, cut-off*)

1 kg deste processo é igual a 0,994 kg de plásticos moldados por injeção.

Início das atividades incluídas – *From cradle*, ou seja, incluindo todas as atividades a montante.

Fim das atividades incluídas – Este processo contém os auxiliares e demanda de energia para o processo de conversão de plásticos. A quantidade convertida de plásticos não está incluída no conjunto de dados.

Produção de PP (*polypropylene production, granulate [RoW], 1999 – 2016, allocation, cut-off*)

Os dados são derivados dos perfis ecológicos da indústria europeia de plásticos (PlasticsEurope). Não estão incluídos os valores reportados para: resíduos recicláveis, quantidade de ar / N₂ / O₂ consumido, emissão de metais não especificados para ar e água, emissão de mercaptana para a atmosfera, emissão não especificada de CFC / hidroclorofluorcarbonos para ar, dioxina para água. Presume-se que a quantidade de "enxofre (aglutinado)" seja incluída na quantidade de óleo bruto.

Início das atividades incluídas – *From cradle*, incluindo todas as atividades a montante.

Fim das atividades incluídas – Dados agregados para todos os processos desde a extração da matéria-prima até a entrega na fábrica.

Produção de tinta (*printing ink production, rotogravure, product in 55% toluene solution state [RoW] 2000 – 2016 allocation, cut-off*)

A unidade funcional representa 1 kg de cor de impressão (preto e colorido misturado) para o setor de impressão em rotogravura.

Início das atividades incluídas – *From cradle*, incluindo todas as atividades a montante.

Fim das atividades incluídas – Estimativa de entradas de material (solventes, ligantes, pigmentos) de consumo de energia. Não há emissões para o ar / água, nem resíduos sólidos incluídos.

Tratamento de água (*tap water production, conventional treatment [RoW] 2012 – 2016 allocation, cut-off*)

Este conjunto de dados representa a produção de 1 kg de água da torneira sob pressão no portão da instalação, pronto para distribuição em rede. Representa a operação média do tratamento convencional para produção de água da torneira. O tratamento convencional inclui coagulação e decantação, filtração e desinfecção. Outros tratamentos, como oxidação (radiação ultravioleta, ozônio) e outros ajustes (pH, alcalinidade, etc.) podem estar presentes em algumas plantas. O inventário foi construído a partir de produtos químicos, insumos energéticos e resíduos registrados em 9 usinas convencionais distintas localizadas no Québec.

Início das atividades incluídas – *From cradle*, incluindo todas as atividades a montante.

Fim das atividades incluídas – Este conjunto de dados termina com a produção de água da torneira, no portão da instalação, sob pressão. Inclui energia para bombeamento de entrada, sistema de tratamento, iluminação e aquecimento do edifício, bem como a energia da bomba de pressurização da água até o início da rede. Inclui todos os produtos químicos e materiais adicionados à água durante o tratamento e, quando necessário, lâmpadas ultravioletas para substituição. Exclui a energia das estações de bombeamento e as perdas de água dentro da rede, uma vez que estão incluídas no mercado de água encanada. As emissões para o meio ambiente ocorridas durante o tratamento e durante a distribuição não foram consideradas, pois são consideradas insignificantes. A principal substância na água que seria liberada no meio ambiente é considerada como sendo considerada nos processos de águas residuais.