



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Mestrando: Luis Fernando Spoladore Amaral

Orientador: Sebastião Roberto Soares, Dr.

**Avaliação do Ciclo de Vida Organizacional de Sistemas com Práticas Circulares -  
Estudo de Caso de Um Restaurante em Florianópolis/SC**

Florianópolis

2022

Luis Fernando Spoladore Amaral

**Avaliação do Ciclo de Vida Organizacional de Sistemas com Práticas Circulares -  
Estudo de Caso de Um Restaurante em Florianópolis/SC**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação  
Em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de  
Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Ambiental  
Orientador: Prof. Sebastião Roberto Soares, Dr.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Amaral, Luis Fernando Spoladore

Avaliação do ciclo de vida organizacional de sistemas com práticas circulares - estudo de caso de um restaurante em Florianópolis/SC / Luis Fernando Spoladore Amaral ; orientador, Sebastião Roberto Soares, 2022.  
82 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Ambiental. 2. Economia circular. 3. Avaliação do Ciclo de Vida Organizacional. 4. Setor alimentício. 5. Pequenas e médias empresas. I. Soares, Sebastião Roberto. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. III. Título.

Luis Fernando Spoladore Amaral

**Avaliação do Ciclo de Vida Organizacional de Sistemas com Práticas Circulares -  
Estudo de Caso de Um Restaurante em Florianópolis/SC**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Rodrigo de Almeida Mohedano, Dr.  
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Bruno Menezes Galindo, Dr.  
Instituição Instituto Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão **original e final do trabalho** de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Engenharia Ambiental.

---

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

---

Prof. Sebastião Roberto Soares, Dr.  
Orientador

Florianópolis, 2022.

Dedico este trabalho a Maria Aparecida  
Spoladore Amaral e Júlio Antonio Amaral.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus, pelo dom da vida.

Logo na sequência, reconheço meus pais, Maria e Júlio, por todo amor, encorajamento, confiança e dedicação, não há dúvidas que se não fossem por eles eu não teria chegado até aqui. O exemplo de suas virtudes é, e sempre foi essencial para que eu me tornasse a pessoa que sou hoje. Sou infinitamente grato pela dádiva de ser seu filho.

Agradeço aos meus irmãos, Lu, Ju, Ma, Gi e Gu pela parceria e instrução em todas as vertentes da vida, a influência positiva que possuem foi fundamental para que minhas escolhas me trouxessem até este momento e trabalhasse com algo que consideramos essencial.

Gratidão ao meu bem, Ana Carolina, presente que me encontrou logo antes dessa importante fase da minha vida, e que esteve sempre parceira nos momentos de alegria e tribulações.

Também sou grato ao meu orientador, Prof. Sebastião Roberto Soares, Dr., pela oportunidade e paciência, pelos colegas do CICLOG, por me receberam de portas abertas e sempre me auxiliarem quando necessário, e em especial ao Thales, pela tutoria e parceria ao longo dos anos.

Por fim, gostaria de agradecer a todos os órgãos, instituições e profissionais que fomentam a educação e ciência no Brasil, incluindo a UFSC, por proporcionar que esse trabalho pudesse ser desenvolvido. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Obrigado!

“O que é mais importante”, perguntou o Grande Panda, “a jornada ou o destino?” “A companhia”, disse o Pequeno Dragão (NORBURY, 2020).

## RESUMO

A Economia Circular tem sido apontada como uma alternativa inovadora para lidar com recursos e resíduos em diversos setores, incluindo os sistemas alimentícios. Por serem incorporadas à cadeia de valor de organizações maiores, as Pequenas e Médias Empresas de serviços alimentícios possuem grande potencial para reduzir os impactos ambientais globais e promover o desenvolvimento da Economia Circular. Entretanto ainda faltam informações e ferramentas para assegurar que as Pequenas e Médias Empresas possam contribuir com esse desenvolvimento. Isto posto, este trabalho propõe uma forma de avaliar os impactos ambientais potenciais de uma organização com práticas circulares. Tal avaliação foi aplicada em estudo de caso composto de três cenários, i. circular, ii. com inserção de carnes e laticínios e iii. linear, com o intuito de verificar a influência das práticas circulares nos impactos ambientais potenciais da organização analisada. Para isso, foram aplicadas a metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida Organizacional do berço ao túmulo, considerando os processos de Produção de Insumos, Logística e Transporte, Operação e Destinação de Resíduos da operação, com posterior interpretação dos resultados e comparação dos cenários. Os resultados demonstram que o cenário 1, aquele em que há a maior adoção de práticas circulares apresentou menor impacto ambiental em todas as 9 categorias de impacto analisadas. Dentre os 3 cenários, o 3º (com menor quantidade de práticas circulares) apresentou maior impacto ambiental em 7 categorias, com exceção de esgotamento de água e ocupação de terras agrícolas. A etapa de produção de insumos foi a que mais contribuiu para as categorias de impacto ambiental, seguida da etapa de Operação. Conclui-se que para o estudo em questão, foi observado que quanto maior a circularidade do sistema, menores os impactos ambientais potenciais na maioria das categorias de impacto analisadas. Esta pesquisa contribui com o assunto ao fornecer uma avaliação combinada do ciclo de vida organizacional e da circularidade de um restaurante.

**Palavras-chave:** Economia circular. Avaliação do Ciclo de Vida Organizacional. Setor alimentício. Pequenas e médias empresas.

## ABSTRACT

The Circular Economy has been pointed out as an innovative alternative for dealing with resources and waste in several sectors, including agri-food systems. Being incorporated into the value chain of larger organizations, Small and Medium-Sized Food Service Enterprises have great potential to reduce global environmental impacts and promote the development of the Circular Economy. However, there is still a lack of information and tools to ensure that SMBs can contribute to this development. Therefore, this paper proposes a way to assess the potential environmental impacts of an organization with circular practices. This evaluation was applied in a case study composed of three scenarios, i. circular, ii. with the insertion of meat and dairy products, and iii. linear, in order to verify the influence of circular practices in the potential environmental impacts of the organization analyzed. For this, the methodology of cradle to grave Organizational Life Cycle Assessment was applied, considering the processes of Input Production, Logistics and Transportation, Operation and Waste Disposal of the operation, with subsequent interpretation of the results and comparison of the scenarios. The results show that scenario 1, the one in which there is a greater adoption of circular practices, presented the lowest environmental impact in all 9 categories of impact analyzed. Among the 3 scenarios, the 3rd (with the least amount of circular practices) presented the greatest environmental impact in 7 categories, with the exception of water depletion and occupation of agricultural land. The input production stage was the one that contributed most to the environmental impact categories, followed by the Operation stage. It is concluded that for the study in question, it was observed that the higher the circularity of the system, the lower the potential environmental impacts in most of the impact categories analyzed. This research contributes to the subject by providing a combined assessment of the organizational life cycle and circularity of a restaurant.

**Keywords:** Circular Economy. Organizational Life Cycle Assessment. Foodservice sector. Small and Medium Enterprises.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fases de um estudo de ACV.....	27
Figura 2 - Passos iterativos do ICV.....	31
Figura 3 - Divisão dos processos e limites da fronteira do sistema para os diferentes cenários .....	38
Figura 4 – Entradas, saídas, atividades diretas e indiretas da organização reportada.....	40
Figura 5 – Avaliação do impacto da ACV-O da organização reportada.....	44
Figura 6 – Principais responsável pelos impactos gerados da AICV.....	45
Figura 7 – Distribuição mensal da AICV durante o ano.....	51
Figura 8 – Quadrantes de impacto ambiental potencial e circularidade.....	53
Figura 9 – Quadrantes de impacto ambiental potencial vs práticas circulares.....	54

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Lista de práticas circulares.....	23
Quadro 2 – Principais definições da ACV-O.....	35
Quadro 3 – Lista de práticas circulares para cada cenário.....	38
Quadro 4 – Categorias de impacto aplicadas no estudo.....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados da AICV.....	43
Tabela 2 – Principais responsável pelos impactos gerados da AICV.....	49
Tabela 3 – Resultados da AICV por mês. ....	52
Tabela 4 –Comparação entre impacto ambiental potencial e circularidade.....	53
Tabela A2.1 – Principais responsável pelos impactos gerados por mês para o Cenário 1.....	71
Tabela A2.2 – Principais responsável pelos impactos gerados por mês para o Cenário 2.....	72
Tabela A2.3 – Principais responsável pelos impactos gerados por mês para o Cenário 3.....	72
Tabela A3 – ICV detalhado.....	74

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ACV Avaliação do Ciclo de Vida  
ACV-O Avaliação do Ciclo de Vida Organizacional  
AICV Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida  
BSI British Standards Institution  
EC Economia Circular  
EMF Ellen MacArthur Foundation  
ICV Inventário de Ciclo de Vida  
ISO International Organization for Standardization  
PME Pequena e Médias Empresa  
SETAC Society for Environmental Toxicology and Chemistry  
UNEP United Nations Environment Programme  
WBCSD World Business Council for Sustainable Development

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	15
1.2	JUSTIFICATIVA .....	17
1.3	OBJETIVOS .....	19
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>19</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>20</b>
2.1	ECONOMIA CIRCULAR .....	20
<b>2.1.1</b>	<b>Economia Circular no setor alimentício .....</b>	<b>24</b>
2.2	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA .....	28
<b>2.2.1</b>	<b>Avaliação de Ciclo de Vida Organizacional.....</b>	<b>31</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Avaliação de Ciclo de Vida no setor alimentício.....</b>	<b>34</b>
2.3	<i>TRADE-OFFS</i> NA EC E ACV .....	35
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>37</b>
3.1	Avaliação do Ciclo de Vida Organizacional .....	37
<b>3.1.1</b>	<b>Definição de Objetivo e Escopo .....</b>	<b>38</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Inventário do Ciclo de Vida.....</b>	<b>42</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida.....</b>	<b>43</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Interpretação.....</b>	<b>44</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>45</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>55</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>58</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>61</b>
<b>A.1</b>	<b>PREMISSAS DO ICV .....</b>	<b>71</b>
<b>A.2</b>	<b>PRINCIPAIS RESPONSÁVEIS PELOS IMPACTOS GERADOS DA AICV POR MÊS</b>	
	72	
<b>A.3</b>	<b>ICV DETALHADO.....</b>	<b>75</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados itens fundamentais para o desenvolvimento desta dissertação, sendo eles: contextualização, justificativa e objetivos.

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A definição de desenvolvimento sustentável mais utilizada, cunhada no Relatório de Brundtland, é retratada como o desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer suas próprias necessidades, por meio do equilíbrio econômico, social e ambiental (WCED, 1987; CHICHILNISKY, 1997). Entretanto, a predominância das considerações do crescimento econômico tem ameaçado a qualidade ambiental do planeta (MARSIGLIO, 2011) e por consequência, uma das estratégias atualmente promissoras para mitigar esse desequilíbrio é a implementação da Economia Circular (EC) (GEISSDOERFER *et al.*, 2018).

O debate científico sobre a conceituação e implementação da EC se intensificou recentemente (BABBITT *et al.*, 2018), de tal maneira que há diversas definições propostas (KIRCHHERR; REIKE; HEKKERT, 2017). O conceito utilizado nesta dissertação foi estabelecido por Homrich *et al.* (2018), o qual retrata a EC como uma estratégia para se opor ao sistema tradicional linear, baseado na lógica de “extrair, produzir, e descartar”, e enfrentar o desafio da escassez de recursos e disposição de resíduos, considerando a perspectiva econômica e de valor.

Não obstante, esta definição pode ser aprimorada ao considerar também aspectos de localismo; compartilhamento de ativos e serviços; e extensão de ciclo de vida de produtos; diminuição da toxicidade de sistemas; a qual busca um sistema regenerativo por design. Tais estratégias podem ser implementadas em diferentes escalas, a saber: nano (produto, componente ou material), micro (empresas e organizações), meso (simbiose industrial) e macro (governos, regiões e nações) (YUAN; BI; MORIGUICHI, 2006; DE OLIVEIRA; DANTAS; SOARES, 2021). Em consonância, a circularidade pode ser definida como a concordância de materiais e fluxos com um grupo de estratégias (reutilização, reciclagem, uso de materiais e energia renováveis, etc.) que atendem aos objetivos gerais de EC (LINDER, SARASINI, VAN LOON, 2017, apud DE OLIVEIRA; DANTAS; SOARES, 2021).

Essa latente atenção dada à EC desencadeou desdobramentos de diferentes setores. Parte do setor alimentício, por exemplo, passou a promover modelos de negócios circulares e a buscar caminhos inovadores para o manejo de recursos e resíduos (DANTAS *et al.*, 2021; GEISSDOERFER *et al.*, 2018). De acordo com Fassio e Tecco (2019), a EC foi considerada como uma nova lógica de produção e consumo aplicada ao ciclo de vida do sistema alimentício e esta mudança, de um modelo linear para um perfil regenerativo em larga escala, poderia contribuir para a diminuição das emissões de Gases de Efeito Estufa provenientes do setor alimentício deste sistema (EMF, 2019a). Entretanto, para que ocorra uma transição circular nesse setor, são necessárias mudanças intensas no ciclo de vida dos produtos relacionados a alimentos (EMF, 2019b), bem como uma cooperação intersetorial entre os diversos atores envolvidos (ESPOSITO *et al.*, 2020).

Tal necessidade é presente uma vez que o setor alimentício desempenha um papel central no setor agroalimentar mais amplo. Devido a sua grande capilaridade e características perenes, ele funciona como uma plataforma para a experimentação e ampliação de estratégias circulares (Mistretta *et al.*, 2019). No entanto, como apontado por Fusi *et al.* (2016), apesar de seu valor econômico e tamanho substancial, ainda há poucas informações sobre seu impacto ambiental potencial no que se refere a EC, o que também está relacionado à atenção dada a esta indústria sob o escopo da EC. Este setor oferece características atraentes para o desenvolvimento e implementação de práticas e soluções da EC devido a uma grande quantidade de Pequenas e Médias Empresas (PMEs) ligadas a ele. Como relatado por Garza-Reyes *et al.* (2019), ainda faltam informações e ferramentas para que as PMEs possam contribuir plenamente para a EC. Como as PMEs são frequentemente incorporadas na cadeia de valor de organizações maiores (UNEP, 2020a), elas têm potencial para reduzir impactos ambientais em todo o país e promover o desenvolvimento da EC.

Uma vez que a EC possui uma abordagem sistêmica, é fundamental que haja uma avaliação holística de toda a cadeia de valor para identificar os *trade-offs* decorrentes da implementação de práticas circulares. Por definição, os *trade-offs* são decisões situacionais que envolvem diminuir qualidade, quantidade ou propriedade de um conjunto em troca de ganhos em outros aspectos, e ocorrem por exemplo, quando há criação de valor positivo, negativo e externalidades (HAHLADAKIS; IACOVIDOU,

2019) entre o aumento das práticas circulares e a diminuição dos encargos ambientais (NIERO; KALBAR, 2019).

Isto posto, deve-se, todavia, ter cautela na transição de sistemas lineares para circulares. Diversos trabalhos já apontaram que sistemas produtivos ditos “circulares” podem apresentar impacto ambiental potencial superior a sistemas produtivos “menos circulares” ou “lineares” (GHISELLINI; RIPA; ULGIATI, 2018). Por outro lado, há argumentos de que as práticas circulares podem anular parcial ou totalmente seus potenciais benefícios ambientais (ZINK; GEYER, 2017; FIGGE; THORPE, 2019), por causa de fatores como: capacidade limitada de substituição de produtos primários por secundários, volatilidade nos preços dos materiais, acréscimo de emissões atmosféricas, aumento de utilização de energia, entre outros (ZINK; GEYER, 2017; CASTRO *et al.*, 2022).

Com base nos elementos apresentados, este trabalho pretende responder a seguinte pergunta de pesquisa: **“A adoção de práticas circulares pode diminuir os impactos ambientais potenciais de uma PME do setor alimentício?”**

## 1.2 JUSTIFICATIVA

De acordo com de Souza Junior *et al.* (2020), modificações nas cadeias de valor são passíveis de *trade-offs* entre impactos ambientais. Os mesmos autores argumentam que a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma das opções preferíveis para a avaliação dos sistemas circulares. A ACV é um método baseado na ciência para a quantificar os impactos ambientais de produtos e serviços (ISO, 2006a; 2006b). Ainda, a Avaliação do Ciclo de Vida Organizacional (ACV-O) é apontada como alternativa para avaliar o perfil ambiental de organizações que possuem práticas circulares, uma vez que permite compilar e avaliar as entradas, saídas e impactos ambientais potenciais das atividades associadas a organização inteira, inclusive seu portfólio de produtos (MARTÍNEZ-BLANCO; INABA; FINKBEINER, 2015; GARCÍA-MUIÑA *et al.*, 2021; ALEJANDRINO; MERCANTE; BOVEA, 2022).

Segundo Fassio e Tecco (2019), a nova lógica de produção e consumo da EC também pode ser aplicada ao ciclo de vida do sistema alimentício, desde a produção agroindustrial até as etapas de pós-consumo. Ainda, segundo os autores, a transição em

larga escala do modelo de produção linear (caracterizado pela degradação ambiental) para um modelo regenerativo (com práticas circulares) poderia resultar na redução de aproximadamente 5,6 bilhões de toneladas de emissões de CO<sub>2</sub> até 2050, o que diminui pela metade as emissões do setor alimentício (EMF, 2019a).

Jurgilevich *et al.* (2016) indica que há três estágios principais do sistema alimentício na ótica de EC, cada qual com sua principal prática de EC: produção (redução de resíduos), consumo (reaproveitamento de alimentos) e gestão de resíduos dos alimentos (reaproveitamento de alimentos, utilização de subprodutos e reciclagem de nutrientes). Ciccullo *et al.* (2021) por sua vez, indica que nas definições de *Food Waste Hierarchy*, são considerados mais do que os três estágios mencionados anteriormente, e que, desde a colheita até o estágio de consumo, são estimadas perdas em torno de 30 a 40% de toda a produção de alimentos, o que equivale a 1,3 bilhão de toneladas por ano em todo o mundo. Além disso, os autores também explanam que os excedentes alimentares podem ser minimizados em diferentes fases do ciclo de vida alimentar, como por exemplo ao recuperar excedentes para consumo humano ou evitar desperdício na fonte, o que limita o uso desnecessário de recursos naturais.

No entanto, mudanças intensas na forma como os alimentos são produzidos, colhidos, transportados, consumidos e descartados precisam ser aplicadas para que a transição de uma Economia Linear para uma EC ocorra no setor alimentício (EMF, 2019b). Nesse contexto, a literatura mostra que a cooperação intersetorial dos diversos atores envolvidos é crucial para que essa mudança de modelo econômico, linear para circular, ocorra (DO CANTO *et al.*, 2021; ESPOSITO *et al.*, 2020). Embora haja extensa pesquisa referente à produção de alimentos sob a ótica da EC (AL-SAIDI *et al.*, 2021; BELAUD *et al.*, 2019; EMF, 2019b), ainda há carência de estudos sobre a implementação dos princípios de EC (e seus impactos ambientais potenciais) na indústria de serviços de alimentação (MISTRETTA *et al.*, 2019).

Devido a ampla quantidade de PMEs vinculadas a essa indústria, há uma ótima oportunidade para o desenvolvimento de práticas e soluções de EC. Atualmente, as PMEs representam 90% de todas as empresas na Europa (EUROSTAT, 2020) e 99% de todas as empresas no Brasil (SEBRAE, 2018). No entanto, apesar das PMEs muitas vezes estarem incorporadas na cadeia de valor de organizações maiores (UNEP, 2020b), ainda há pouca informação e ferramentas limitadas para que estas implementem ações da EC em escala global (GARZA-REYES *et al.*, 2019).

O tema sugerido neste projeto de dissertação de mestrado está de acordo com os objetivos do Grupo de Pesquisa em Avaliação de Ciclo de Vida (CICLOG) e à linha de pesquisa “Gestão Ambiental em Organizações”, do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

### 1.3 OBJETIVOS

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

#### **1.3.1 Objetivo Geral**

Avaliar os impactos ambientais potenciais decorrentes de práticas circulares em organizações do setor alimentício.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- i. Quantificar os impactos ambientais potenciais de um restaurante por meio da ACV-O, considerando diferentes cenários de práticas circulares.
- ii. Avaliar qual a consequência da adoção de diferentes práticas circulares sobre os impactos ambientais potenciais da organização.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta conceitos e aspectos teóricos abordados neste trabalho. As temáticas serão retratadas em cinco tópicos: Economia Circular, Práticas Circulares, Economia Circular no Setor Alimentício, Avaliação do Ciclo de Vida, Avaliação do Ciclo de Vida Organizacional e Avaliação de Ciclo de Vida no Setor Alimentício, *Trade-offs* na EC e ACV.

### 2.1 ECONOMIA CIRCULAR

A EC tem sido utilizada na formulação de novas estratégias para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e auxiliar na transição para o desenvolvimento sustentável (EMF, 2012; GEISSDOERFER *et al.*, 2018; MASI *et al.*, 2018).

O pensamento circular existe há pelo menos 56 anos (BOULDING, 1966) e foi fundamentado no metabolismo industrial, o qual defende economias industriais como organismos biológicos ou ecossistemas naturais, ou seja, são estas entendidas como sistemas de transformação de materiais, com caminhos metabólicos distintos que evoluem ao longo do tempo (AYRES; KNEESE, 1969).

Acredita-se que a EC tenha surgido da economia ecológica e ambiental (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016) e do desenvolvimento eco industrial, propositores da coexistência entre economia e um ambiente saudável (GENG; DOBERSTEIN, 2008). Ademais, os modelos de EC são inspirados em anos de pesquisa em campos e escolas de pensamento da Ecologia Industrial (ERKMAN, 1997), *Cradle to Cradle* (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2010) e da Economia de Desempenho (STAHEL, 2010), explicados a seguir.

Entende-se a Ecologia Industrial como uma abordagem na qual a humanidade pode prezar pela sustentabilidade, dada a contínua evolução econômica, cultural e tecnológica. O conceito argumenta a existência do ecossistema industrial em conjunto com seu sistema circundante, de forma sistêmica, o qual busca otimizar o ciclo total dos materiais, desde o material virgem até o descarte final (GRAEDEL; ALLENBY, 2002).

O *Cradle to Cradle*, em consonância, busca criar técnicas de produção que não sejam apenas eficientes, mas também essencialmente livres de resíduos, em que todas as entradas e saídas de materiais são vistas como insumos do ciclo técnico ou nutrientes do ciclo biológico. Os insumos do ciclo técnico podem ser reciclados ou reutilizados sem perda de qualidade e os nutrientes do ciclo biológico compostados ou consumidos (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2010).

A Economia do Desempenho, por sua vez, foca na concepção de produtos duradouros, como uma estratégia de extensão da vida do produto, e apoia a venda do serviço de um produto e não o próprio produto físico (STAHEL, 2010).

Kirchherr, Reike e Hekkert (2017) identificaram 114 diferentes definições de EC, que foram agrupadas em 17 dimensões. Foi constatado que aquelas estipulam como principal objetivo da EC a prosperidade econômica, seguida da qualidade ambiental. Por outro lado, o impacto na equidade social e nas gerações futuras quase não é mencionado. Na sequência do trabalho citado, foi proposta uma definição mais completa e abrangente de EC, a qual a considera um sistema econômico que busca alcançar o desenvolvimento sustentável, nas escalas micro (ex: nação), meso (ex: simbiose industrial) e macro (ex: organização), por meio de modelos de negócios que visem a redução, reutilização, reciclagem e recuperação de materiais nos processos de produção, distribuição e consumo para substituir o fim de vida de um produto (KIRCHHERR; REIKE; HEKKERT, 2017).

No contexto atual, para a *Ellen MacArthur Foundation* (EMF), uma das instituições mais robustas na área de EC (CAYZER; GRIFFITHS; BEGHETTO, 2017; LÈBRE; CORDER; GOLEV, 2017; ROSSI *et al.*, 2020), o campo apresenta três princípios fundamentais: preservação do capital natural; otimização da produção visando a circularidade (tanto técnica quanto biológica); e desenvolvimento de sistemas eficazes que minimizem externalidades negativas (EMF, 2012). Para isso, são sugeridas algumas abordagens de revalorização (EMF, 2012; CAYZER; GRIFFITHS; BEGHETTO, 2017), incluindo: *i.* eliminação de resíduos, padronização e modularização (facilitando a desmontagem), *ii.* escolha dos materiais com base no potencial de circularidade, *iii.* promoção de resiliência por meio da diversidade, *iv.* obtenção de energia de fontes renováveis, *v.* pensamento sistêmico e *vi.* pensamento de cascatas.

Apesar do avanço na definição dos princípios, estratégias e formas de monitorar a EC em sistemas de produto e organizações, ainda há insuficiência de padronizações

(EMF, 2015; GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016; SAIDANI *et al.*, 2017). Essa lacuna foi parcialmente preenchida pela primeira normalização do conceito em 2017, pelo *British Standard Institute* (BSI), que apresentou a norma BS 8001 (BSI, 2017). Tal documento foi desenvolvido por meio da pesquisa de normas relacionadas ao assunto, fórum de especialistas e partes interessadas e, por fim, um painel de redação (PAULIUK, 2018).

A norma tratada busca auxiliar organizações na implementação de práticas mais circulares e sustentáveis em seus negócios, seja fornecendo produtos e serviços circulares ou redesenhando toda sua proposta de valor e modelo de negócios (BSI, 2017). De acordo com a BS 8001, é necessário que as organizações sigam no mínimo seis princípios da EC: pensamento sistêmico, inovação, administração, colaboração, otimização de valor e transparência (PAULIUK, 2018).

Além dos princípios, a norma também lista os principais modelos de negócio circulares, a saber: desmaterialização, extensão ou reinserção do produto no do ciclo de vida, recuperação de matérias-primas ou subprodutos secundários, sistema de produto como serviço ou serviço-produto, economia compartilhada, consumo colaborativo e sob demanda (ROSSI *et al.*, 2020). Com a adoção dos princípios e modelos de negócios propostos, a organização poderá, por meio do design e da gestão sustentável de recursos em seus produtos e serviços, criar negócios de valor de longo prazo que irão auxiliar no progresso do desenvolvimento sustentável (BSI, 2017).

Além das limitações e lacunas citadas, há carência de estruturas abrangentes (MASI *et al.*, 2018) e ferramentas para auxiliar as empresas na avaliação das práticas e desempenho de EC (HAAS *et al.*, 2015; ELIA; GNONI; TORNESE, 2017).

De acordo com Khan e Haleem (2020), ainda há uma escassez de literatura relacionada à quais práticas circulares facilitam a transição de economia linear para uma economia circular. Para suprir essa lacuna, realizaram uma extensa revisão da literatura científica, consultaram especialistas e painéis de indicadores de circularidade. Ao final do estudo, obtiveram uma listagem de quinze principais práticas de EC, ilustradas no Quadro 1.

Quadro 1 – Lista de práticas circulares

Nº	Prática Circular	Referência
1	Projetar produtos para circularidade	Ellen MacArthur Foundation (2015)
2	Utilização de critérios ambientais para seleção de fornecedores	Masi <i>et al.</i> (2018)
3	Processos projetados para minimização de resíduos	Chiappetta Jabbour <i>et al.</i> (2020)
4	Utilização de energia e materiais renováveis	Masi <i>et al.</i> (2018)
5	Treinamento relacionado a práticas circulares para colaboradores	Garza-Reyes <i>et al.</i> (2019)
6	Sistema regenerativo	WBCSD (2021)
7	Reaproveitamento de energia e água	Masi <i>et al.</i> (2018)
8	Implementação da logística reversa	Esbensen and Velis (2016)
9	Uso de componentes e materiais em cascata	De Angelis, Howard, and Miemczyk (2018)
10	Consideração de fatores ambientais na avaliação de desempenho	Mesa, Esparragoza, and Maury (2018)
11	Conscientização do consumidor	Lieder and Rashid (2016)
12	Localismo	Dybdahl (2019)
13	Conscientização dos parceiros da cadeia de suprimentos	van Weelden, Mugge, and Bakker (2016)
14	Colaboração multifuncional	Masi <i>et al.</i> (2018)
15	Práticas de R's	Blomsma <i>et al.</i> , (2019)

Fonte: Adaptado de Khan e Haleem (2020).

A 1ª prática, projetar produtos para circularidade, refere-se ao produto que deve ser projetado de tal forma que possa reduzir o consumo de material e energia e reutilizar/recuperar no nível do componente. A 2ª, Utilização de critérios ambientais para seleção de fornecedores, diz respeito a seleção do fornecedor que não deve se basear apenas nos critérios econômicos, mas também nos critérios ambientais. A 3ª, Processos projetados para minimização de resíduos, informa que o processo de produção deve ser projetado e adotado de forma a gerar o mínimo de desperdício em toda a cadeia de valor. A 4ª, Utilização de energia e materiais renováveis, recomenda que sejam utilizados materiais e energia renováveis nas operações da cadeia de suprimentos, especialmente no processo de produção. A 5ª, Treinamento relacionado a práticas circulares para colaboradores, estabelece que devem ser fornecidos treinamentos para os colaboradores sobre as práticas circulares, bem como questões ambientais. A 6ª, Sistema regenerativo, é caracterizada por um sistema que possui insumo renovável, não tóxico e/ou cultivado de forma sustentável e colhidos a um ritmo tal que a renovação e crescimento natural seja permitido após a extração, com potencial de recuperação e biodegradação. A 7ª prática, Reaproveitamento de energia e água, se dá quando a energia e água são reutilizadas no local e possivelmente em toda a cadeia de suprimentos.

A 8ª, Implementação da logística reversa, ocorre quando a organização estabelece uma rede de logística reversa para a coleta dos produtos dos usuários após seu uso e fim de sua vida funcional. A 9ª, Uso de componentes e materiais em cascata, refere-se ao aprimoramento do uso em cascata de componentes e materiais produzidos e utilizados pela organização. A 10ª, Consideração de fatores ambientais na avaliação de desempenho, ocorre quando o sistema de avaliação de desempenho interno da organização também inclui os fatores ambientais para um melhor desempenho comercial. A 11ª, Conscientização do consumidor, indica que é necessário conscientizar os clientes em relação às práticas circulares e seu impacto ambiental. A 12ª, Localismo, é uma estratégia de negócios que estabelece uma cadeia de suprimentos em proximidade geográfica. A 13ª, Conscientização dos parceiros da cadeia de suprimentos, é a responsabilidade da organização em conscientizar os parceiros da cadeia de suprimentos associados às práticas circulares para adoção efetiva de práticas circulares que resultarão em desenvolvimento sustentável. A 14ª, Colaboração multifuncional, é a colaboração e cooperação multifuncional para melhorias ambientais. E por fim, a 15ª, Práticas de R's, refere-se à adoção das práticas R's (reduzir, reutilizar, remanufaturar, reciclar) para avançar em direção a EC.

### **2.1.1 Economia Circular no setor alimentício**

De acordo com o *ecological footprint index*, atualmente a humanidade utiliza o equivalente a 1,3 planetas Terra por ano (Global Footprint Network, 2022). Essa estimativa representa a área biologicamente produtiva que seria necessária para que a população mundial vivesse de forma sustentável, o que está além da disponibilidade real com a qual podemos contar (WACKERNAGEL e REES, 1998). Consequentemente, desde a publicação de *The Limits to Growth*, pelo Clube de Roma, a oferta de recursos naturais e o impacto ambiental das atividades humanas têm causado preocupação na comunidade científica (MEADOWS *et al.*, 1972).

O setor alimentício contribui significativamente com essas preocupações, pois sua ineficiência oportuniza a geração de desperdício em cada etapa da cadeia de suprimentos alimentício, desde a produção até o consumo (PARFITT, BARTHEL e MACNAUGHTON, 2010). Para se ter uma ideia, aproximadamente um terço dos alimentos produzidos para consumo humano (1,3 bilhão de toneladas por ano) é perdido

(FAO, 2011), com alguns autores estimando que essa quantidade seja tão alta quanto a metade de todos os alimentos cultivados em todo o mundo (LUNDQVIST, 2008). A cadeia alimentar pode, assim, ser considerada uma das principais contribuintes para a atual produção de resíduos e desperdício irracional, além de gerar questões éticas em relação à pobreza e à justiça social, envolve custos ambientais e econômicos devido ao descarte (BORRELLO *et al.*, 2016).

Esse atual modelo econômico “linear” afetou severamente o setor alimentício, principalmente por problemas como escassez de recursos, perda de alimentos e geração de resíduos ao longo da cadeia de suprimentos. Juntamente com esses problemas, as mudanças climáticas e a perda de biodiversidade ajudaram o setor a definir uma mudança imperativa para o modelo de EC (LIEDER & RASHID, 2016). ESPOSITO *et al.* (2020) realizaram uma revisão sistemática da literatura a fim de investigar o estado da arte da pesquisa relacionada à adoção de modelos e ferramentas de EC ao longo da cadeia de suprimentos alimentícios. Tal revisão destaca que, devido à complexidade dessa cadeia, é quase utópico definir um modelo único de EC para todo o setor. Além disso, recomendam que pesquisas futuras devem focar na integração de diferentes ferramentas que considerem todas as etapas da cadeia.

Com o objetivo de compreender suas principais características e perspectivas neste campo, Hamam *et al.* (2021) também realizaram uma revisão da literatura acadêmica sobre EC em sistemas alimentícios. Esta levou em consideração o modelo de negócios e gestão das organizações, a perda e desperdício de alimentos ao longo da cadeia de suprimentos, ferramentas analíticas existentes, aceitação dos *stakeholders* e estratégias de mitigação. Os resultados mostraram que há necessidade de implementação de modelos de produção com menor impacto ambiental potencial e consequente aumento da responsabilidade e conscientização dos *stakeholders*, bem como a necessidade de implementação de políticas e ferramentas adequadas.

Alguns autores identificam o setor alimentício como um dos setores-chave que demandam reformulação de estratégias para assegurar o atingimento da EC (ESPOSITO *et al.*, 2020). Para isso, foi criado um painel de indicadores de circularidade para orientar o setor alimentício de acordo com escopo, áreas de sustentabilidade e escalas de implementação de EC. O estudo identificou que há necessidade de adoção de indicadores transversais no setor e que, para definir as configurações mais adequadas entre os indicadores, estudos futuros devem testar os indicadores no nível micro para validar sua

aplicabilidade e considerar os impactos que podem ter no nível macro ou meso (POPONI *et al.*, 2022).

Das Neves Gomes e Da Silva (2022) realizaram um estudo de caso em um restaurante com o objetivo de traçar um caminho para otimizar a performance ambiental (alinhada as estratégias de EC) dos processos de preparação de alimentos. Concluíram que para diminuir os impactos ambientais potenciais de restaurantes, é necessário determinar os fluxos dos processos de geração, separação e coleta de resíduos; e associar cada tipo de resíduo e coprodutos de cada processo. Feita essa etapa, recomenda-se levantar quais são as possíveis ações para redução da geração de resíduos e, por fim, a definição da destinação final ambientalmente mais adequada desses resíduos e coprodutos. O resultado do trabalho indica que aproximadamente 15% da matéria-prima do restaurante é descartada, mas que quase todas as embalagens podem ser recicladas, além da matéria orgânica poder ser destinada para a compostagem.

Há um paralelo entre as práticas circulares listadas no Quadro 3 e as estratégias e *frameworks* de EC e podemos observar alguns pontos que se aplicam ao setor alimentício. Por exemplo, a prática circular Processos projetados para minimização de resíduos está intimamente relacionado ao princípio de “*design out waste and pollution*”, proposto pela EMF em 2015, nos quais a eficácia do sistema é fomentada pela identificação e eliminação de tais externalidades negativas (EMF, 2015). Relativamente a estas externalidades, a agricultura é responsável pela contaminação do solo devido à utilização inadequada de fertilizantes, herbicidas e pesticidas (AZNAR-SANCHEZ *et al.*, 2019). Ainda, restaurantes utilizam diversos utensílios de uso único e embalagens descartáveis, logo é fundamental que o setor alimentício opte por uma agricultura com pouca utilização de intensivos agrícolas, bem como a utilização de embalagens retornáveis e reutilizáveis.

Outro princípio da EMF é o de "manter produtos e materiais em uso" análogo a prática Utilização de Energia e materiais renováveis, implicando que o valor dos produtos, co-produtos e subprodutos deve ser maximizado em entre as cadeias e em todas as fases da cadeia de valor, com o objetivo geral de manter sempre os recursos ao seu mais alto nível de utilidade e valor (EMF, 2019a). O desenvolvimento tecnológico permitiu a utilização de uma variedade de materiais em muitos processos antes da sua eliminação permanente, tais como na produção de bioenergia (BOS E BROEZE, 2020; FYTILI e ZABANIOTOU, 2018), como composto (compostagem) e para alteração do

solo e biofertilizantes (MORENO *et al.*, 2020; MOLINA-MORENO *et al.*, 2017), ou como alimento para gado (FERNANDEZ-MENA *et al.*, 2020; GUO *et al.*, 2015). A utilização de embalagens compostáveis e recicláveis para as refeições de restaurantes é um exemplo desse princípio.

O Localismo, prática circular elucidada por Dybdahl (2019) também é aplicável a sistemas alimentícios. De acordo com EMF (2015), essa prática apoia os sistemas naturais, reconstruindo e melhorando os ecossistemas, ao mesmo tempo que preserva a qualidade do ar e da água. Por exemplo, existe potencial das cidades para agirem como centros de produção alimentar. Sozinhos, os sistemas de cultivo urbano, tais como os que combinam a aquacultura de interior com a produção de vegetais hidropônicos, só podem fornecer uma quantidade limitada de nutrição necessária para a saúde humana. As cidades podem, no entanto, obter uma grande parte dos alimentos das suas áreas circundantes: 40% das terras agrícolas do mundo, referidas como áreas peri-urbanas, estão localizadas num raio de 20 km das cidades. Ao compreenderem a sua produção peri-urbana existente, as cidades podem exigir alimentos que não são apenas cultivados regenerativamente, mas também localmente e apoiar a diversificação das culturas, selecionando variedades que melhor se adaptam às condições locais, construindo assim resiliência (EMF, 2015).

As Práticas de R's também estão estreitamente relacionadas aos sistemas alimentícios. Dossa *et al.* (2022) e Kirchherr, Reike, Hekkert (2017) citam alguns exemplos de redução, reutilização e reciclagem. Redução de insumos com a utilização de menos recursos (capital, energia, terra, materiais, etc.) para produzir e distribuir alimentos, por exemplo, menos uso de agroquímicos e redução de resíduos com a utilização de menos resíduos gerados pela produção, distribuição e consumo de alimentos, por exemplo, redução da produção excedentária através de um melhor controlo do inventário. Reutilização de um produto, componente ou material da mesma forma e com a mesma finalidade que originalmente se pretendia, sem modificação, por exemplo, reutilização de excedentes de pão do dia como torradeira. Reciclagem, como a extração (sucata) de matérias-primas de um produto e a utilização desses materiais em novos produtos. Conversão de resíduos alimentares num novo produto, por exemplo, produção de pão ralado a partir de pão seco para rechear aves de capoeira, guisados espessantes, etc., enquanto outra possibilidade, mas menos desejável, é a compostagem.

Finalmente, o princípio da "regeneração dos sistemas naturais" da EMF, análogo a prática de Sistemas Regenerativos refere-se à preservação e melhoria dos ecossistemas

através da substituição dos recursos finitos por recursos renováveis (EMF, 2015). A implementação deste princípio deu origem a uma agricultura regenerativa, que se refere a um sistema de produção agrícola e pecuária que visa melhorar a saúde do ecossistema natural circundante (COLLEY *et al.*, 2020). Os métodos de cultivo regenerativos podem reduzir as emissões de gases com efeito de estufa, capturar carbono nos solos e na matéria vegetal, e minimizar a perturbação do solo. Além disso, a agricultura regenerativa melhora a estrutura do solo para permitir um melhor armazenamento da água e promover solos biologicamente ativos que geram a sua própria fertilidade, reduzindo a necessidade de insumos sintéticos (STAHEL, 2010). A regeneração abrange um leque de possibilidades, incluindo o desenvolvimento de embalagens concebidas para decomposição feitas de materiais biológicos (CEM, 2013), o aumento do sequestro de carbono através de práticas de gestão de resíduos vegetais (CEM, 2017), ou processos de tratamento de materiais como a compostagem (CEM, 2019a).

## 2.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A década de 1960 foi marcada pela preocupação mundial com a degradação ambiental e com a escassez de energia e materiais. Tal perturbação motivou o desenvolvimento de abordagens orientadas aos perfis ambientais do ciclo de vida de produtos, idealizando a ACV (HAUSCHILD; ROSENBAUM; OLSEN, 2018). Os primeiros estudos foram realizados no âmbito de embalagens, concentrando-se na quantificação de emissões e uso de energia na produção desse tipo de material (KLÖPPFER; GRAHL, 2014). Entretanto, o desenvolvimento metodológico ganhou força somente nas décadas de 1980 e 1990, por meio da colaboração e coordenação internacional da comunidade científica, que segue contribuindo nesse aspecto até hoje (HAUSCHILD; ROSENBAUM; OLSEN, 2018).

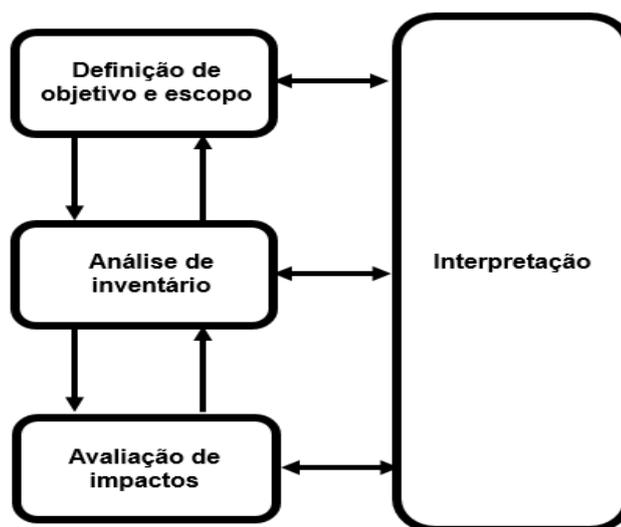
A ACV é uma entre diversas metodologias de gestão ambiental internacional, utilizada para investigar os impactos ambientais potenciais de um produto ou serviço ao longo de todo o seu ciclo de vida, ou seja, do "berço-ao-túmulo" (GUINÉE; HEIJUNGS, 2017). Pode ser aplicada para identificar possíveis *hotspots* ambientais no ciclo de vida, isto é, processos que contribuíram de forma mais significativa para o perfil ambiental do sistema. Ainda, pode ser aplicada para comparar diferentes produtos ou serviços com o

intuito de determinar qual alternativa tem um menor impacto ambiental potencial (MARGALLO *et al.*, 2014).

No Brasil, a ACV é regulamentada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio das normas NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a) e NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b). Essas normas definem etapas específicas que devem ser seguidas para uma avaliação completa e confiável do ciclo de vida do produto e dos impactos ambientais resultantes (HAUSCHILD; ROSENBAUM; OLSEN, 2018).

Uma avaliação completa do ciclo de vida consiste em quatro etapas essenciais e iterativas, sendo elas: definição de objetivo e escopo, análise de inventário de ciclo de vida, avaliação de impacto do ciclo de vida, e interpretação. A apresentação e interação entre essas fases estão ilustradas na Figura 1 (ABNT, 2009a; 2009b).

Figura 1 - Fases de um estudo de ACV.



Fonte: Adaptado de ABNT (2009b).

Na definição de objetivo e escopo da ACV, a função do sistema de produto investigado é determinada, bem como a unidade funcional e os limites dos sistemas. Também são decididos o público-alvo e as aplicações do estudo. Outras escolhas feitas neste ponto do projeto incluem os procedimentos de alocação, metodologia de avaliação de impacto, metodologia de interpretação, requisitos de dados e premissas do estudo (HAUSCHILD; ROSENBAUM; OLSEN, 2018). Como a ACV usa uma abordagem iterativa, esses componentes podem ser modificados à medida que o projeto avança, se houver necessidade (ABNT, 2009a; ABNT 2009b; ISO, 2014).

A análise de inventário do ciclo de vida (ICV) envolve a coleta de dados e quantificação de todas as entradas e saídas do sistema de produto (ABNT, 2009a). Primeiramente, são identificadas todas as entradas e saídas relevantes para os procedimentos incluídos nos limites do sistema. Na sequência, as quantidades de entradas e saídas devem ser determinadas em relação à unidade funcional do estudo (GUINÉE; HEIJUNGS, 2017). De acordo com o princípio da iteratividade, conforme os dados são coletados, é possível detectar limitações e fazer certas suposições necessárias. Isso pode levar a uma modificação do objetivo e do escopo para garantir a coerência entre os diferentes estágios da ACV (ABNT, 2009a; 2009b).

Uma vez que as emissões do sistema tenham sido quantificadas, a avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) determinará em qual etapa e em que quantidade as emissões serão mais significativas, associando os dados do inventário com os impactos ambientais relevantes (GUINÉE; HEIJUNGS, 2017). Para isso, categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização são selecionados, tendo como possíveis resultados as abordagens *midpoint* e *endpoint* (ABNT, 2009b).

Uma abordagem *midpoint* se refere a pontos intermediários de medição ao longo da cadeia causal do impacto, que representam diferentes impactos ambientais, como toxicidade humana, destruição da camada de ozônio, eutrofização, radiação ionizante, esgotamento de recursos, entre outros (HUIJBREGTS *et al.*, 2016). As categorias de *midpoint* podem ser combinadas para formar as categorias *endpoint*. Esta última ocorre quando vários passos são considerados entre as alterações do meio ambiente e o impacto final, como por exemplo saúde humana e qualidade de ecossistemas e recursos naturais (ABNT, 2009b).

Vale ressaltar que os impactos calculados a partir de um estudo de ACV são impactos potenciais. Eles são expressos em referência à unidade funcional e, portanto, não são uma previsão dos efeitos reais de um sistema de produto. Os impactos potenciais baseiam-se em dados de inventário que são integrados ao longo do tempo e do espaço e, portanto, ocorrem em locais e horizontes de tempo diferentes (HAUSCHILD; ROSENBAUM; OLSEN, 2018).

Na etapa final da ACV, os resultados obtidos por meio do ICV e AICV são avaliados. As incertezas relacionadas ao estudo são examinadas e, se necessário, uma análise de sensibilidade pode ser aplicada para determinar se as incertezas possuem

impacto significativo sobre os resultados (ABNT, 2009b). A interpretação deve explorar como as escolhas feitas ao longo do estudo (premissas, modelos, categorias de impacto e dados usados) afetam os resultados (SHAKED *et al.*, 2015).

A ACV pode revelar diferentes aspectos dos sistemas a serem estudados, desde a investigação da contribuição dos impactos nas diferentes fases do ciclo de vida dentro de um mesmo sistema de produto, até a comparação do desempenho ambiental de sistemas de produtos ou cenários diferentes (HAUSCHILD; ROSENBAUM; OLSEN, 2018).

### 2.2.1 Avaliação de Ciclo de Vida Organizacional

Embora a ACV tenha sido definida originalmente para produtos em si, as empresas normalmente estão envolvidas nos ciclos de vida destes, de maneira que sua aplicação também pode ser adaptada ao contexto organizacional (MARTÍNEZ-BLANCO; INABA; FINKBEINER, 2015; JUNGBLUTH; KELLER; KÖNIG, 2016). Em 2013, a *International Organization for Standardization* (ISO) desenvolveu um projeto para padronizar os requisitos e diretrizes para aplicação do pensamento do ciclo de vida às organizações, a ISO/TS 14072 (ISO, 2014), a qual define a ACV-O como: a “*compilação e avaliação das entradas, saídas e impactos ambientais potenciais das atividades associadas a uma organização e o fornecimento de seu portfólio de produtos, adotando uma perspectiva de ciclo de vida*”.

Da mesma forma, em 2015 a UNEP/SETAC *Life Cycle Initiative*, também publicou o documento “*Guidance on Organizational Life Cycle Assessment*” (Orientação sobre Avaliação do Ciclo de Vida Organizacional) (UNEP, 2015).

As duas metodologias, ACV e ACV-O, abordam as quatro fases citadas anteriormente, de maneira que as principais diferenças entre elas residem nas etapas de definição de objetivo, escopo e análise de inventário de ciclo de vida (ISO, 2014). Enquanto na ACV a unidade funcional representa o desempenho quantificado de um sistema de produto, na ACV-O a unidade de referência é a expressão do desempenho quantificado da organização em estudo a ser utilizada como referência. Além disso, o fluxo de referência, o qual representa a medida das saídas dos processos do sistema de produto necessária para cumprir a função expressa pela unidade funcional, é chamado de

fluxo reportado. O ICV, por outro lado, é mais abrangente, pois não se refere a um único produto, mas a todos os insumos e saídas do sistema (UNEP, 2015).

A ACV-O fornece o perfil de impacto ambiental potencial para as atividades da organização, e utiliza uma abordagem múltipla, em que são avaliados um conjunto abrangente de questões ambientais pertinentes para sistemas específicos (UNEP, 2015). Além disso, a organização reportada de uma ACV-O deve ser descrita em termos de assunto de estudo, locais que devem ser considerados e o período de representação do estudo (MARTÍNEZ-BLANCO; INABA; FINKBEINER, 2015). Isso significa que diferente de uma ACV, a ACV-O não foi projetada para comparação de diferentes sistemas, mas para acompanhar o desempenho das organizações, obtido por meio da melhoria contínua e por uma avaliação regular de seu desempenho ambiental ao longo do tempo (ISO, 2014).

A seguir são destacados os procedimentos metodológicos do Guia da ACV-O (UNEP, 2015) e ISO 14072 (ISO, 2014). Segundo este último, "ACV-O é a compilação e avaliação de todas as entradas, saídas e impactos ambientais potenciais das atividades associadas a uma organização adotando uma perspectiva de ciclo de vida" (ISO, 2014). A mesma norma define uma organização como uma pessoa ou grupo que tem suas próprias funções com responsabilidades, autoridades e relações para alcançar seu objetivo (ISO, 2014).

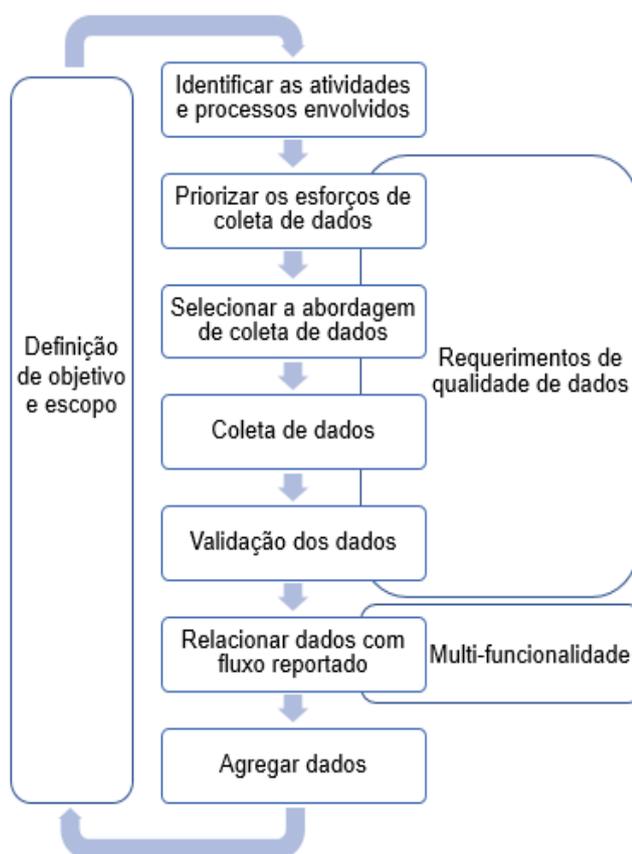
Segundo as instruções das normas, a avaliação se divide entre: a definição de objetivo e escopo, processos envolvidos, motivação do estudo, descrição do sistema e limite das fronteiras, bem como as referências quantitativas; o ICV, coleta, organização e categorização dos dados; a AICV, em que os impactos ambientais potenciais da organização são calculados levando-se em conta as categorias de impacto previamente definidas; e por fim, a interpretação dos resultados.

A definição de objetivo e escopo é realizado para categorizar os seguintes itens: nome e identificação da organização reportada; descrição da organização; porte da organização; período de referência; unidade de referência; fluxo reportado; fronteira do sistema; processos analisados; *experience-based pathway*; metodologia de consolidação; método de coleta de dados; requisito de qualidade de dados; público-alvo e intenção de aplicação.

O ICV, segundo as definições da ISO/TS 14072 (2014), consiste no dimensionamento e coleta de dados de todos os insumos e cálculo dos fluxos de entrada

(energia, água, matéria-prima e outras entradas auxiliares), e saída (produtos, coprodutos e efluentes sólidos, líquidos e gasosos) referentes a cada processo elementar dentro da fronteira do sistema de produto. Para isso, a fase de ICV conta com os passos iterativos ilustrados na Figura 2.

Figura 2 - Passos iterativos do ICV.



Fonte: Modificado de UNEP (2015), tradução própria.

Como apresentado na NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b), a fase de AICV consiste na avaliação dos impactos ambientais potenciais do sistema de produto, de acordo com os dados inventariados no ICV, condensando o elevado volume de dados em algumas categorias impacto. Diferentes métodos de AICV podem ser adotados, como por exemplo o *Eco-indicator 99*, *CML* e *ReCiPe 2016 midpoint* (H). Alguns exemplos dessas categorias de impacto *midpoint* incluem aquecimento global, depleção da camada de ozônio, eutrofização, acidificação, toxicidade humana (carcinogênicas e não-carcinogênicas), efeitos respiratórios (inorgânicos), radiação ionizante, ecotoxicidade, formação de ozônio fotoquímico, uso de terra e esgotamento de recursos, dentre outras.

A última fase, denominada de Interpretação se relaciona diretamente com as outras três fases da ACV. Nela é realizada a identificação das questões significativas e dos responsáveis pelos impactos gerados (aspectos mais impactantes) com base nos resultados das fases de ICV e AICV, a formulação de conclusões e identificação de limitações sobre a pesquisa (ISO, 2006b). Nota-se que as constatações desta interpretação podem tomar a forma de conclusões e recomendações para os tomadores de decisão, de forma consistente com o objetivo e escopo do estudo (ISO, 2006a). É nesta etapa em que se avalia a consequência da adoção de diferentes práticas circulares nos impactos ambientais potenciais da organização.

### **2.2.2 Avaliação de Ciclo de Vida no setor alimentício**

De acordo com Baldwin, Wilberforce e Kapur (2011), ainda há carência de orientações em relação a quais esforços um restaurante precisa ter para que reduza sua “pegada ambiental”. Diante disso, o *Green Seal* realizou estudos de ACV em restaurantes e operações de serviços alimentares nos Estados Unidos. Foram agrupadas as atividades operacionais em quatro estágios: aquisição de alimentos, armazenamento, preparação e cozimento, e serviço/suporte. As categorias de impacto examinadas incluíram inorgânicos respiratórios, acidificação/eutrofização, depleção de combustíveis fósseis, ecotoxicidade, carcinógenos, uso da terra e mudanças climáticas. O estágio aquisição de alimentos foi o maior responsável pelos impactos gerados em todas as categorias de impacto examinadas, enquanto o estágio de armazenamento de alimentos foi o aspecto menos impactante. Por fim, constatou-se que os impactos poderiam ser reduzidos com várias práticas preferíveis, como por exemplo: compra de insumos de origem vegetal (substituição do animal), orgânicos e de produtores locais, utilização de equipamentos com melhor eficiência energética e utilização de embalagens compostáveis.

Jungbluth, Keller e König (2016) realizaram uma ACV-O com foco no consumo de alimentos onde foram analisados os impactos ambientais de cerca de 20 milhões de refeições servidas em 240 cantinas da Suíça. Constataram que os impactos de aquisição de alimentos são cerca de quatro vezes maiores que os impactos referentes ao funcionamento das cantinas. Os principais responsáveis pelos impactos gerados encontrados foram carne e produtos lácteos. Ainda encontraram oportunidades de melhoria em diferentes processos. Na operação, identificaram a necessidade de redução

do desperdício de alimentos e a utilização de aparelhos mais energeticamente eficientes. Na cadeia de valor, a redução de vegetais cultivados em estufas aquecida, o abandono de produtos transportados pelo avião e a redução da quantidade média de carne por refeição.

### 2.3 TRADE-OFFS NA EC E ACV

Hahladakis e Iacovidou (2019) e Niero e Kalbar (2019), Kravchenko, Pigosso e Mcaloone (2020) apresentam os *trade-offs* (definição na página 16) como situações caracterizadas por conflitos entre os objetivos desejados, onde é impossível satisfazer todos os critérios simultaneamente. Para os autores, embora a identificação dos *trade-offs* entre os pilares de sustentabilidade seja algo comum, ainda há uma lacuna nas abordagens existentes para apoiar o diálogo na tomada de decisões que envolvem a EC. Ainda, afirmam que se os *trade-offs* não forem reconhecidos, existe o risco de decisões levarem a subotimizações ou até impactos potenciais maiores.

Rosenboom, Langer e Traverso (2022) avaliaram as vantagens e os desafios dos bioplásticos na transição para uma EC e identificaram que estes possuem uma menor pegada de carbono em comparação com os plásticos de base fóssil, além de serem biodegradados no cenário de fim de vida e compatíveis com os atuais fluxos de reciclagem. Entretanto, a substituição de plásticos de base fóssil para bioplásticos resulta em alguns *trade-offs*. Os processos de fabricação de bioplásticos podem ser energeticamente menos eficientes do que os processos de fabricação usual e acarretam grandes impactos ambientais potenciais associados à agricultura. Ainda, o uso de biomassa de primeira geração para confecção de bioplásticos é controverso devido à potencial competição com a produção de alimentos. Por fim, os fluxos de reciclagem de bioplásticos ainda precisam ser estabelecidos para torná-los verdadeiramente “circulares”, pois impactos ambientais potenciais associados ao fim de vida do material podem ser maiores em comparação aos de plásticos de base fóssil, principalmente pelo fato dos bioplásticos compostáveis ainda serem frequentemente rejeitados pelos compostadores.

Ainda, por meio da ACV e *material flow analysis*, Cobo e Dominguez-Ramos (2018) estudaram os *trade-offs* entre circularidade e impactos ambientais em um sistema de tratamento de resíduos. Os autores concluíram que há redução da pegada de carbono do sistema ao aumentar a taxa de separação de resíduos orgânicos na fonte. Entretanto, a

melhoria da circularidade dos nutrientes intensifica também os impactos ambientais relacionados a eutrofização. Ainda assim, conclusões gerais não podem ser tiradas, uma vez que esses impactos são altamente dependentes da sensibilidade do ambiente receptor.

Segundo Glogic, Sonnemann e Younga (2021) é imprescindível considerar os impactos ambientais potenciais ao avaliar a aplicação de estratégias de EC para otimizar o uso de materiais e recuperar recursos. Os autores recomendam que essa avaliação seja feita utilizando o indicador *Material Circularity Indicator* e a metodologia de ACV, e afirmam que os *trade-offs* ambientais podem ser subestimados para algumas estratégias, uma vez que a perda de qualidade do material com a reciclagem não é capturada dentro da estrutura metodológica do *Material Circularity Indicator*. Isto posto, em um estudo de caso, eles aplicaram essa avaliação conjunta em diversos cenários para a melhoria da circularidade de baterias alcalinas. Os resultados demonstraram quão significativamente essa limitação do *Material Circularity Indicator* pode influenciar os *trade-offs* e concluíram que, para o caso avaliado, melhorar a circularidade geralmente reduz os impactos ambientais, embora haja grande variabilidade entre dois conjuntos de valores. Por exemplo, um aumento de 14% na pontuação do *Material Circularity Indicator* para dois cenários de reciclagem se traduz em uma pequena redução de impactos ambientais em um caso (até 1,64%) e uma grande redução em outro (até 56,82%).

De acordo com Peña *et al.* (2021), os questionamentos que envolvem as estratégias de EC a serem seguidas geralmente são respondidos pela aplicação da ACV. Isso porque esta fornece insights sobre os *trade-offs* entre os recursos, *outputs* e categorias de impactos, como uso de água, energia, emissões, uso de materiais e conteúdo reciclado. Dentre alguns dos exemplos de cuidados necessários relacionados a *trade-offs*, estão: i) para compor um produto com 100% de conteúdo reciclado é necessário considerar os impactos potenciais do uso de energia, água e materiais, com o objetivo de usar os materiais reciclados de maneira segura (ou seja, livre de substâncias tóxicas acumuladas em ciclos anteriores); ii) ao banir a utilização de produtos plásticos descartáveis, devem ser considerados simultaneamente os impactos econômicos, ambientais e sociais de alternativas (como papel, algodão ou sacolas plásticas duráveis), ao longo do ciclo de vida dos produtos; iii) optar por localismo, que envolve trabalhar com fornecedores próximos e diminuir o transporte para fornecimento de insumos, é necessário considerar como isso afetaria a qualidade e suprimento dos principais produtos de fontes locais, bem como os impactos socioeconômicos no países fornecedores originais.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho tem o objetivo de avaliar os impactos ambientais potenciais decorrentes de práticas circulares em organizações do setor alimentício. Para isso, foi aplicada a metodologia em estudo de caso em restaurante localizado em Florianópolis/SC. O detalhamento encontra-se nas seções a seguir.

#### 3.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA ORGANIZACIONAL

Esse tópico trata-se da aplicação da ACV-O no estudo de caso em questão. Conforme mencionado, este estudo seguiu os procedimentos apresentados no Guia da ACV-O (UNEP, 2015) e ISO 14072 (ISO, 2014). O Quadro 2 resume as principais definições descritas nos próximos tópicos.

Quadro 2 – Principais definições da ACV-O.

<b>Organização Reportada</b>	Restaurante
<b>Descrição</b>	Restaurante vegano e certificado Lixo-Zero localizado em Florianópolis-SC, Brasil
<b>Porte da Organização</b>	Pequeno porte (< 50 funcionários)
<b>Período de referência</b>	Jan - Dez/2020
<b>Unidade de referência</b>	Servir refeições durante um ano de operação do restaurante
<b>Fluxo Reportado</b>	18.000 refeições servidas em um ano de operação
<b>Fronteira do Sistema</b>	Berço-ao-túmulo (exclui equipamentos de escritório, equipamentos de cozinha e talheres e consumo de refeições)
<b>Processos analisados</b>	Produção, Logística e Transporte, Operação, Fim de Vida
<b>Experience-based Pathway</b>	<i>Pathway 1: limited initial environmental experience and information</i>
<b>Metodologia de consolidação</b>	Controle operacional e financeiro
<b>Método de coleta de dados</b>	<i>Top-down</i> : dados agregados coletados através do balanço anual da empresa
<b>Requisito de qualidade de dados</b>	Dados primários: obtidos diretamente com base no balanço interno anual de 2020 do restaurante; Dados secundários: <i>datasets</i> do <i>agribalyse</i> 3.0.1 e do <i>ecoinvent</i> 3.7.1
<b>Público alvo</b>	Gerência da organização
<b>Intenção de aplicação</b>	Identificação de <i>hotspots</i> ambientais, gestão estratégica, monitoramento do desempenho ambiental, maior transparência e controle

Fonte: Elaboração própria (2022).

### 3.1.1 Definição de Objetivo e Escopo

O objetivo do estudo de caso foi avaliar os impactos ambientais potenciais decorrentes de práticas circulares em organizações do setor alimentício. Os resultados dessa avaliação foram entregues à organização reportada para posterior utilização nas decisões gerenciais e no acompanhamento do seu desempenho ambiental. Conforme exigido na ISO 14072 (2014), este estudo não tem intenções comparativas externas e seus resultados são direcionados principalmente para melhor informar os tomadores de decisão sobre o desempenho ambiental de seus negócios.

O sistema de produto aqui estudado é um restaurante vegano certificado Lixo-Zero, fornecida pelo Instituto Lixo-Zero Brasil (ILZB, 2018), localizado em Florianópolis-SC, Brasil. Toda operação da organização ocorre em apenas uma instalação, logo, todos os transportes quantificados neste trabalho foram calculados utilizando o restaurante como destino. A organização emprega de cinco a dez pessoas, dependendo da estação do ano (máximo de colaboradores no verão). O período de estudo analisado compreende de janeiro a dezembro de 2020.

O restaurante trabalha ativamente no campo da EC por meio de projetos de sensibilização e do modelo de negócio próprio. As práticas circulares e de Lixo-Zero aplicadas pela empresa são: (1) compostagem de quase todos os resíduos sólidos orgânicos gerados (Sistema regenerativo); (2) desenvolvimento de relações com sua rede de fornecedores até o ponto em que pudessem exigir (quando aplicável) que todos os produtos adquiridos fossem entregues sem plástico ou pelo menos com embalagens recicláveis (Práticas de R's); (3) não utilização de produtos e utensílios de uso único em suas operações bem como o uso de embalagens de vidro reutilizadas internamente e na entrega de algumas refeições, eliminando assim todos os recipientes plásticos (Processos projetados para minimização de resíduos); (4) utilização de embalagens compostáveis e recicláveis para as refeições (Utilização de energia e materiais renováveis); (5) envio de todos os resíduos recicláveis para associações parceiras ou programas municipais de reciclagem (Práticas de R's) (6) desenvolvimento de projetos de sensibilização em conjunto com as partes interessadas locais direcionados para a EC e questões socioambientais (Conscientização dos parceiros da cadeia de suprimentos); (7) aquisição da maioria dos produtos de fornecedores locais, encurtando assim as cadeias de valor

(Localismo); (8) refeições de base agroecológica, vegetal e primária, contribuindo assim para a produção regenerativa de alimentos (Sistema regenerativo).

No intuito de verificar a influência de práticas circulares no desempenho ambiental do sistema, três cenários foram criados (Figura 3), sendo estes:

\* **Cenário 1 (Baseline)** – é caracterizado por um sistema de produto que aplica 5 práticas circulares, ou seja, (i) conta com insumos alimentícios de proteína a base de plantas e agroecológicos (Sistema regenerativo), (ii) provindos de agricultores locais (Localismo) e (iii) operação Lixo-Zero, em que o mínimo de resíduos é enviado para aterro sanitário, sendo os resíduos orgânicos destinados a compostagem e resíduos plásticos, de vidro e papel enviados a reciclagem (Práticas de R's). Além disso, nesse cenário (iv) não são utilizadas embalagens plásticas descartáveis, mas embalagens de papel e papelão (Utilização de energia e materiais renováveis) e (v) embalagens de vidro reutilizadas (Processos projetados para minimização de resíduos). Tal cenário seria caracterizado como “*as it is*”, mas devido a limitações metodológicas como base de dados e disponibilidade de informações, foram selecionadas as 5 práticas passíveis de modelagem na ACV-O.

\* **Cenário 2 (Carne e laticínios)** - é caracterizado por um sistema de produto que aplica 4 práticas circulares (mesmas que no Cenário 1 com exceção de Sistema regenerativo), em que houve a substituição de opções de proteínas vegetais por carnes e laticínios, a substituição foi feita a partir da opinião experiente de um profissional terceirizado do setor alimentício, com a premissa de que as refeições são equivalentes em termos nutricionais. Vale ressaltar que o sistema produtivo desses insumos é caracterizado como não regenerativo, pois os mesmos não são cultivados de forma sustentável e colhidos a um ritmo tal que a renovação e crescimento natural seja permitido após a extração (WBCSD, 2021). Inclui operação Lixo-Zero (Práticas de R's, Utilização de energia e materiais renováveis e Processos projetados para minimização de resíduos) e Localismo.

\* **Cenário 3 (Restaurante convencional)** - é caracterizado por um sistema de produto que não aplica práticas circulares, representando um restaurante convencional, com as mesmas substituições do Cenário 2, e ainda com a utilização de plástico, embalagens descartáveis, sem localismo e com envio de todos os resíduos do processo produtivo ao aterro sanitário.

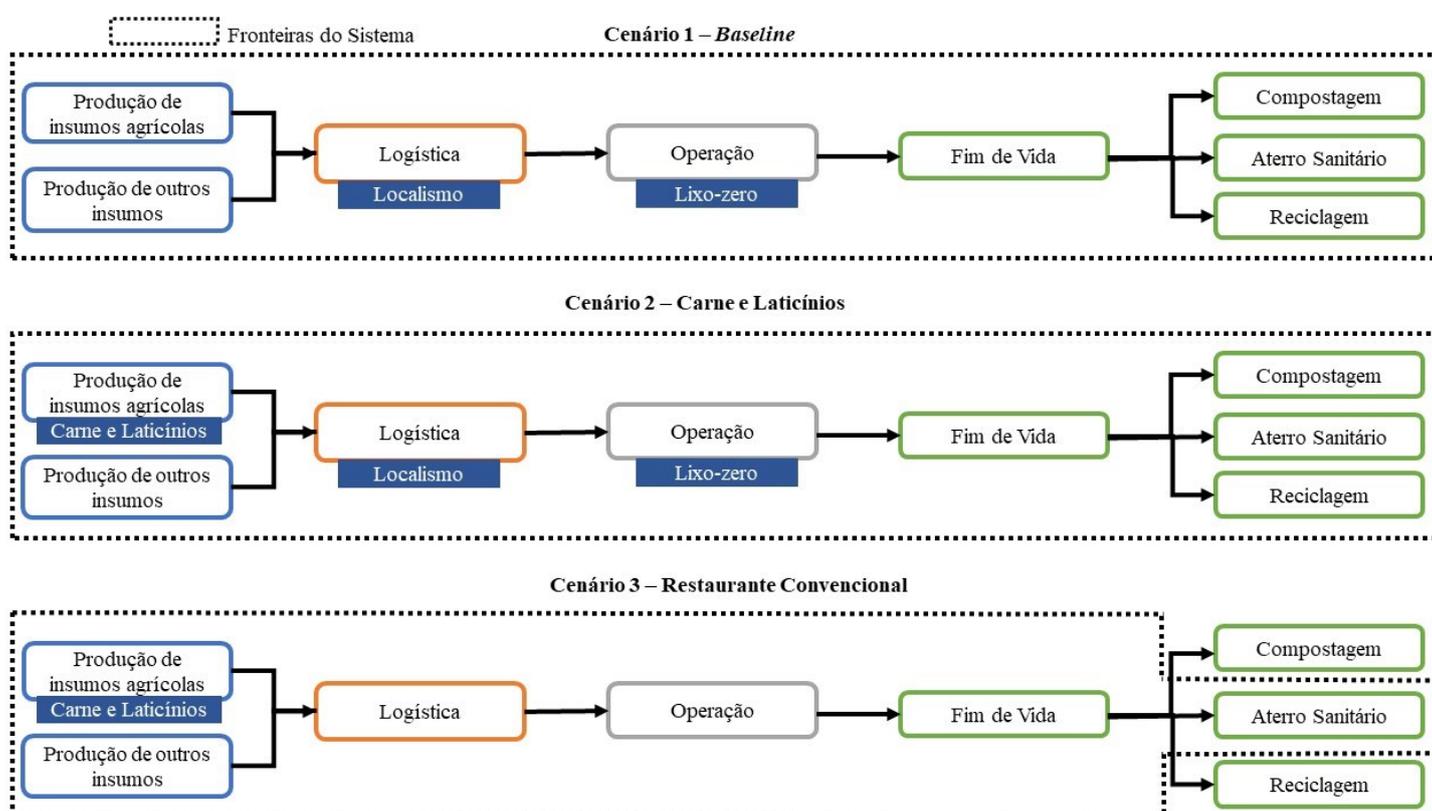
O resumo das práticas circulares adotadas em cada cenário pode ser observado no Quadro 3.

Quadro 3 – Lista de práticas circulares para cada cenário.

Práticas Circulares	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Processos projetados para minimização de resíduos	✓	✓	X
Utilização de energia e materiais renováveis	✓	✓	X
Localismo	✓	✓	X
Práticas de R's	✓	✓	X
Sistema regenerativo	✓	X	X

Fonte: Elaboração própria (2022).

Figura 3 – Divisão dos processos e limites da fronteira do sistema para os diferentes cenários



Fonte: Elaboração própria (2022).

A unidade de referência foi definida como: "servir refeições durante um ano de operação do restaurante", e o fluxo reportado é, portanto, de 18.000 refeições, que é o número aproximado de refeições vendidas em 2020 (período de referência). A metodologia de consolidação aplicada foi de controle operacional e financeiro. Vale ressaltar que o restaurante é uma organização de capital fechado, com total controle e

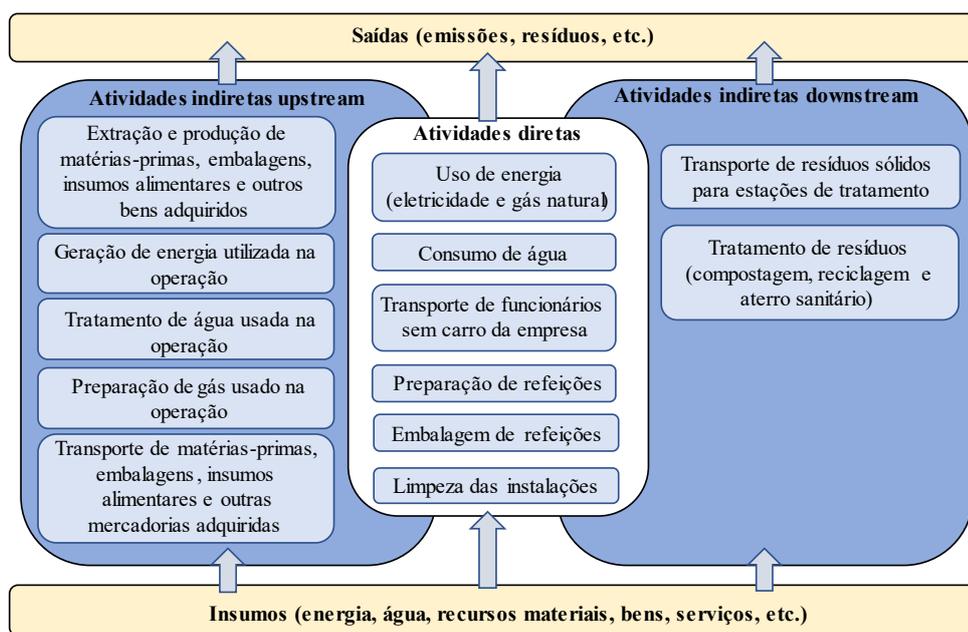
gerência sobre esses aspectos. O estudo adotou uma abordagem do berço-ao-túmulo (ou seja, desde a produção dos insumos até o tratamento final dos resíduos gerados na operação), na qual quatro processos principais foram desenvolvidos para analisar com maior detalhe os impactos da organização reportada sob os limites da fronteira estabelecido.

Os quatro são Produção, Logística e Transporte, Operação e Fim de Vida. Produção referiu-se à extração, produção e aquisição de todos os bens, insumos alimentícios e não alimentícios (independentemente de estarem ligados ao ciclo técnico ou biológico (EMF, 2015)). A Logística e Transporte foi relacionada com o transporte dos insumos dos fornecedores até a organização reportada, bem como o transporte dos funcionários até o restaurante. A Operação contemplou todos os processos envolvidos no restaurante como a cozinha, preparação de refeições, serviço, limpeza, atividades de escritório e gerenciais, e outras tarefas relacionadas. O processo de Fim de Vida referiu-se à disposição e tratamento final de todos os resíduos sólidos gerados na operação (aterro sanitário, compostagem, reciclagem), incluindo o transporte do restaurante ao destino.

Ainda, de acordo com a UNEP (2015), o sistema deve incluir (se possível) todas as entradas e saídas das atividades diretas e indiretas. A primeira indica as atividades controladas pela organização reportada, a última se refere às consequências das atividades que ocorrem em locais controlados por outro membro da cadeia de valor. As atividades indiretas são divididas entre *upstream* e *downstream*, ou seja, processos que ocorrem “antes” e “depois” da organização reportada, respectivamente.

O guia da UNEP (2015) também afirma que, em geral, o uso de dados específicos é recomendado para atividades diretas e indiretas, mas como a obtenção de informações sobre atividades a montante e a jusante é cara e demorada, dados aproximados podem ser usados. Portanto, dados primários foram usados para atividades diretas e uma combinação de dados medidos, estimados e genéricos, foram utilizados para atividades indiretas. A Figura 4 ilustra as entradas, saídas e atividades diretas e indiretas analisadas neste estudo.

Figura 4 – Entradas, saídas, atividades diretas e indiretas da organização reportada.



Fonte: Adaptado de UNEP/SETAC (2015).

### 3.1.2 Inventário do Ciclo de Vida

O relatório do UNEP (2015) descreve quatro possíveis *"experience-based pathway"* para a condução de uma ACV-O. Esses caminhos são abordagens comuns para auxiliar uma organização a conduzir projetos ACV-O com base em seu nível de maturidade em relação à avaliação dos impactos ambientais e/ou outras práticas de gestão do ciclo de vida e da cadeia de valor. A organização reportada não tinha experiência no uso de ferramentas de análise ambiental e nunca havia realizado projetos completos de avaliação ambiental antes. Portanto, ela se enquadrou no *pathway 1*: limitada experiência e informação sobre aspectos e impactos ambientais.

Como nenhuma metodologia de avaliação ambiental ou de ciclo de vida havia sido aplicada ao sistema de estudo, a coleta de dados seguiu a abordagem aplicada por Jungbluth *et al.* (2016). De acordo com UNEP (2015), o método de coleta de dados utilizado é categorizado como um procedimento *top-down*, ou seja, considerando a organização como um todo para todas as entradas e para todas as saídas. Para isso, a organização reportada forneceu uma lista detalhada de todas as compras, incluindo peso, custos e balanço do período coberto pelo relatório. Ainda, quando necessário, foi estabelecido contato direto com os fornecedores para solicitação de arquivos de compras.

Como a coleta de dados do estudo foi realizada no ano de 2020, devido à pandemia COVID-19, o contato com os clientes foram substancialmente reduzidos por meio da implementação de restrições comportamentais e operacionais. Por essa razão, todas as refeições foram preparadas e pré-embaladas para entrega, respeitando o protocolo de distanciamento social e com o mínimo de contato com o quadro de pessoal do restaurante. Assim, as refeições foram acondicionadas de acordo com a embalagem escolhida pela organização, que se refere a 400g de alimentos embalados em uma opção de embalagem reciclável e compostável.

A maioria dos dados do ICV foi considerada de boa qualidade, pois foi obtida diretamente da documentação de compras da organização reportada e de seus fornecedores. No entanto, como o setor de alimentação depende de uma grande variedade de fornecedores e produtos, que também estão ligados às mudanças sazonais, estimativas e extrapolações foram necessárias. Ou seja, sempre que possível, foram aplicados os dados primários utilizados no estudo, e na ocorrência de limitação de dados, foram utilizados dados secundários. O ICV completo e as premissas adotadas nessa etapa do projeto podem ser encontrados nas Tabelas A.1 e A.3, localizadas no Material Suplementar.

Por fim, esta etapa também contou com a validação dos dados coletados e na relação com processos elementares, catalogados de acordo com o fluxo reportado definido no escopo do projeto: unidades de refeições servidas em um ano de operação.

### **3.1.3 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida**

Nesta fase, como apresentado na NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b), foram avaliados os impactos ambientais potenciais do sistema de produto, de acordo com os dados catalogados no ICV. O estudo foi modelado utilizando uma abordagem híbrida de *datasets*, combinando o *ecoinvent* 3.7.1 com o *agrobalyse* 3.0.1 para complementar as informações sobre o ciclo de vida dos produtos alimentícios.

O método de AICV aplicado foi o ReCiPe 2016 *midpoint* (H), que correlaciona as categorias de impacto com seus respectivos dados inventariados (HUIJBREGTS *et al.*, 2016). A avaliação foi realizada por meio da perspectiva hierárquica, pois é o modelo padrão do consenso científico (HUIJBREGTS *et al.*, 2016; ZIMEK *et al.*, 2019). Nove categorias de impacto foram selecionadas entre as dezoito possibilidades apresentadas neste método de avaliação. A UNEP (2015) afirma que a seleção das categorias de

impacto deve ser consistente com o objetivo e o escopo analisados e considerar as contribuições das partes interessadas. Portanto, foram consultados estudos de ACV-O com escopos similares (CREMER *et al.*, 2020; DE CAMARGO *et al.*, 2019; FORIN *et al.*, 2019; JUNGBLUTH *et al.*, 2016), e a organização reportada na seleção das categorias de impacto. O Quadro 4 resume as categorias de impacto aplicadas no estudo.

Quadro 4 – Categorias de impacto aplicadas no estudo.

<b>Categoria de Impacto</b>	<b>Unidade</b>
Uso de terra agrícola	m2a
Mudanças climáticas	kg CO2-Eq
Esgotamento de recursos fósseis	kg óleo-Eq
Eutrofização de água doce	kg P-Eq
Toxicidade humana	kg 1,4-DCB-Eq
Eutrofização marinha	kg N-Eq
Transformação de terra natural	m2
Acidificação terrestre	kg SO2-Eq
Esgotamento de água doce	m3

### 3.1.4 Interpretação

Além dos procedimentos e objetivos comuns de interpretação da ACV, nessa etapa também foram realizadas a análise de aspectos significativos de ICV, a identificação de *hotspots* ambientais (fase do ciclo de vida ou responsável pelos impactos gerados que contribuíram mais de 10% para o impacto total na respectiva categoria de impacto) e dos aspectos mais impactantes na AICV (BALDWIN, WILBERFORCE & KAPUR, 2011; ZANGHELINI *et al.*, 2020). Os resultados foram analisados e interpretados seguindo o contexto dado por cada cenário. Além disso, também foram avaliadas as diferenças em termos de impactos ambientais potenciais em relação às mudanças sazonais da organização. A interpretação está discorrida nos resultados e discussão desse trabalho.

Após a obtenção dos resultados da AICV para cada categoria de impacto e para os 3 cenários modelados, os resultados foram normalizados percentualmente e alocados em quadrantes de impacto ambiental e circularidade para facilitar a representação gráfica, conforme proposta de Alejandrino, Mercante e Bovea (2022). Um exemplo da normalização utilizada foi que para a categoria de impacto Uso de terra agrícola, o

Cenário 2 teve o maior resultado em m<sup>2</sup>a, logo, os resultados do Cenário 1 e 3 foram divididos pelo resultado do Cenário 2 com objetivo de obter uma proporção percentual.

#### 4 RESULTADOS

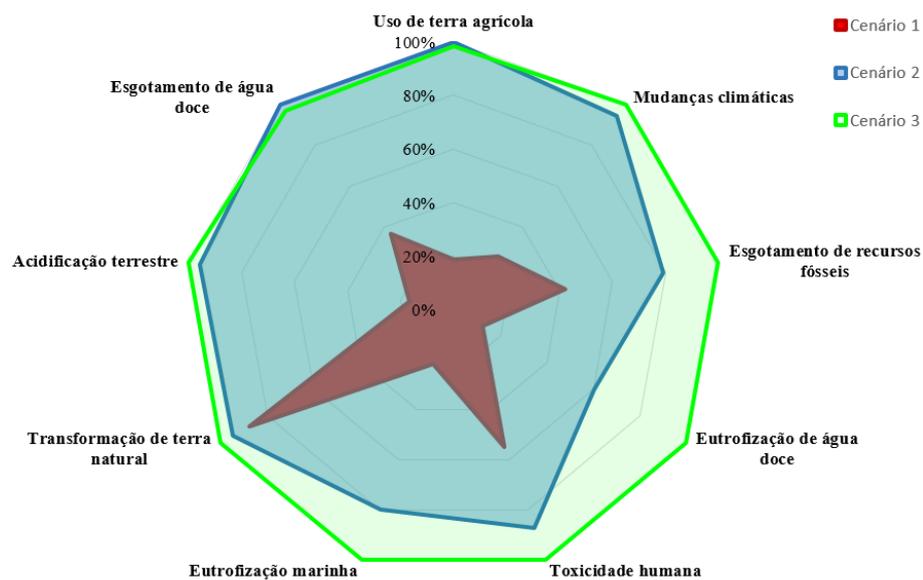
Os resultados da AICV para cada um dos cenários analisados são apresentados na Tabela 1 e Figura 5. Pode-se observar que o Cenário 1 (com maior quantidade de práticas circulares) teve melhor desempenho ambiental em todas as nove categorias de impacto avaliadas. Já o Cenário 3 (com menor quantidade de práticas circulares) classificou-se como o mais alto em termos de impactos ambientais potenciais entre os três cenários em sete categorias: Mudanças climáticas, Esgotamento de recursos fósseis, Eutrofização de água doce, Toxicidade humana, Eutrofização marinha, Transformação de terra natural, e Acidificação terrestre. As únicas duas exceções foram Uso de terra agrícola e Esgotamento de água doce, nos quais o Cenário 2 (com uma prática circular a menos que o Cenário 1) apresentou maior impacto ambiental em relação aos demais cenários, mas com mudanças mínimas em relação ao Cenário 3. De fato, o Cenário 2 apresentou resultados próximos nas categorias Mudanças climáticas, Acidificação terrestre, e Transformação de terra natural para o cenário mencionado acima. Sendo que esta última é a única categoria em que os impactos dos três cenários apresentaram resultados próximos.

Tabela 1 – Resultados da AICV.

<b>Categoria de Impacto</b>	<b>Unidade</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>
Uso de terra agrícola	m <sup>2</sup> a	32878,78	176575,00	174054,00
Mudanças climáticas	kg CO <sub>2</sub> -Eq	27864,60	103320,01	109256,01
Esgotamento de recursos fósseis	kg óleo-Eq	4496,27	8415,99	10627,31
Eutrofização de água doce	kg P-Eq	5,23	25,29	41,99
Toxicidade humana	kg 1,4-DCB-Eq	7757,62	12322,25	14122,02
Eutrofização marinha	kg N-Eq	149,12	539,42	675,69
Transformação de terra natural	m <sup>2</sup>	125,21	134,95	142,67
Acidificação terrestre	kg SO <sub>2</sub> -Eq	205,29	1171,54	1223,99
Esgotamento de água doce	m <sup>3</sup>	98,74	270,04	261,98

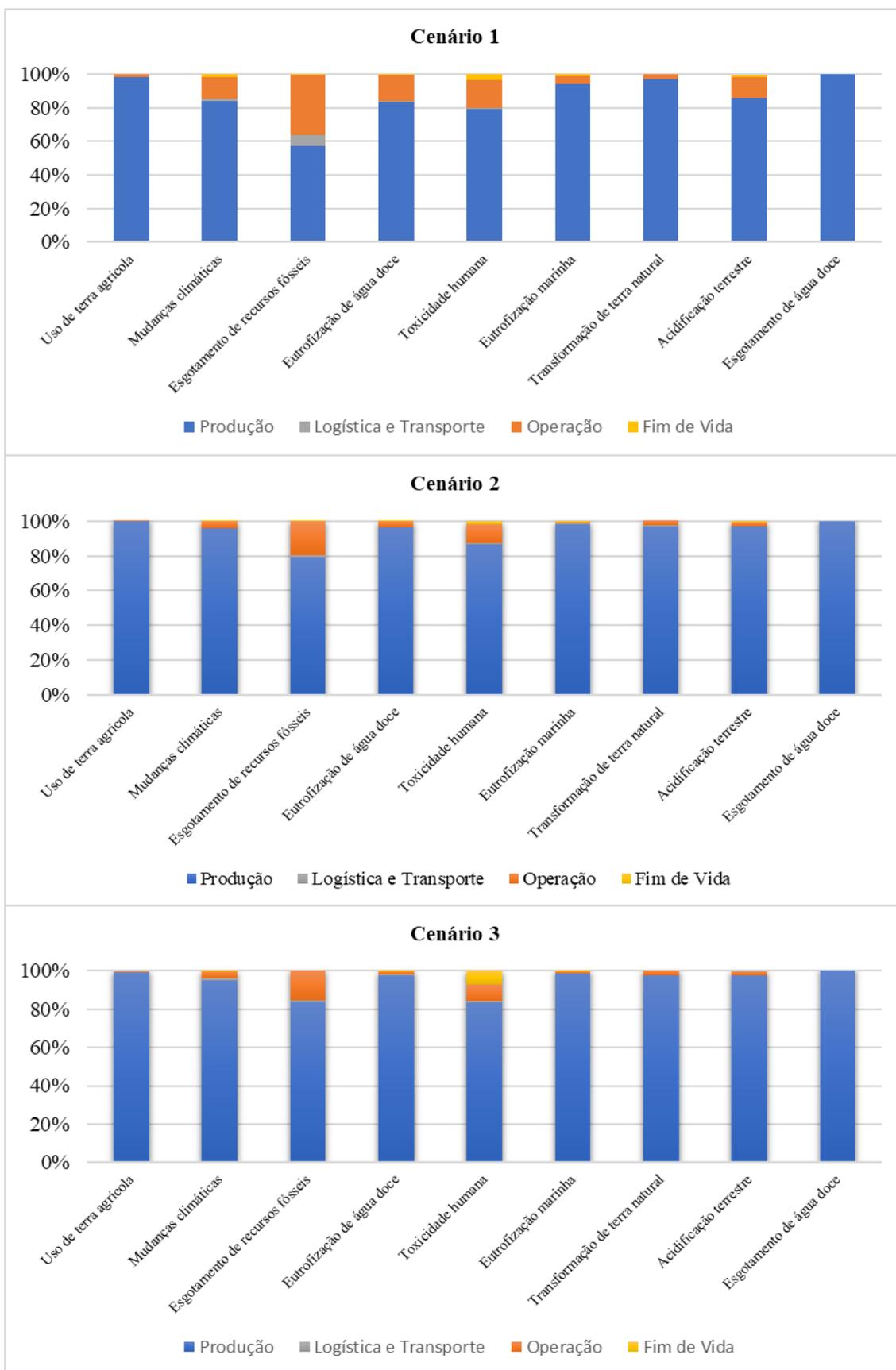
Fonte: Elaboração própria (2022).

Figura 5 – Avaliação do impacto da ACV-O da organização reportada.



Fonte: Elaboração própria (2022).

Figura 6 – Principais responsáveis pelos impactos gerados da AICV.



Fonte: Elaboração própria (2022).

Tabela 2 – Principais responsáveis pelos impactos gerados da AICV.

<b>Categoria de Impacto</b>	<b>Produção</b>	<b>Logística e Transporte</b>	<b>Operação</b>	<b>Fim de Vida</b>
<b>Cenário 1</b>				
Uso de terra agrícola	98,00%	0,00%	1,95%	0,03%
Mudanças climáticas	83,95%	1,05%	13,57%	1,29%
Esgotamento de recursos fósseis	57,36%	6,21%	36,11%	0,32%
Eutrofização de água doce	83,44%	0,49%	15,76%	0,33%
Toxicidade humana	79,02%	0,93%	16,51%	3,34%
Eutrofização marinha	93,85%	0,58%	4,30%	1,23%
Transformação de terra natural	96,99%	0,01%	2,94%	0,00%
Acidificação terrestre	85,64%	0,10%	12,57%	0,88%
Esgotamento de água doce	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<b>Cenário 2</b>				
Uso de terra agrícola	99,63%	0,00%	0,35%	0,00%
Mudanças climáticas	95,67%	0,30%	3,68%	0,37%
Esgotamento de recursos fósseis	79,15%	1,40%	19,23%	0,18%
Eutrofização de água doce	96,57%	0,03%	3,27%	0,06%
Toxicidade humana	86,81%	0,63%	10,42%	2,22%
Eutrofização marinha	98,30%	0,20%	1,06%	0,36%
Transformação de terra natural	97,22%	0,30%	2,72%	0,00%
Acidificação terrestre	96,88%	0,02%	2,33%	0,14%
Esgotamento de água doce	100,02%	0,00%	0,00%	0,00%
<b>Cenário 3</b>				
Uso de terra agrícola	99,20%	0,00%	0,36%	0,00%
Mudanças climáticas	95,24%	0,79%	3,47%	0,97%
Esgotamento de recursos fósseis	83,68%	1,15%	15,25%	0,21%
Eutrofização de água doce	97,89%	0,02%	2,04%	0,09%
Toxicidade humana	83,39%	0,47%	9,13%	7,14%
Eutrofização marinha	98,44%	0,17%	0,97%	0,82%
Transformação de terra natural	97,43%	0,05%	2,52%	0,00%
Acidificação terrestre	97,70%	0,02%	1,84%	0,00%
Esgotamento de água doce	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Fonte: Elaboração própria (2022).

Como mostrado na Figura 6 e Tabela 2, a fase de Produção foi o principal responsável pelos impactos gerados entre os quatro processos em que o sistema foi dividido. A Operação segue como o segundo processo de maior impacto na maioria das categorias analisadas (aproximadamente 12% de contribuição média). Já Logística e transporte e Fim de Vida mostraram contribuições mínimas (menos de 1% de contribuição média) em todos os cenários e categorias.

Mais de 83% dos encargos ambientais em sete das nove categorias avaliadas para o Cenário 1 estão no processo de Produção (Tabela 2). Esgotamento de recursos fósseis e Toxicidade humana são as únicas exceções, mas ainda tiveram a Produção como principal responsável pelos impactos gerados (Figura 6). Como pode ser observado na Tabela A2.1, os encargos ambientais do Cenário 1 estão intimamente ligados à produção de diversos alimentos, tais como grão de bico, chocolate e arroz. Neste cenário, a Operação é responsável por 36,1% do impacto relacionado a Esgotamento de recursos fósseis, e 16,5% para a Toxicidade humana.

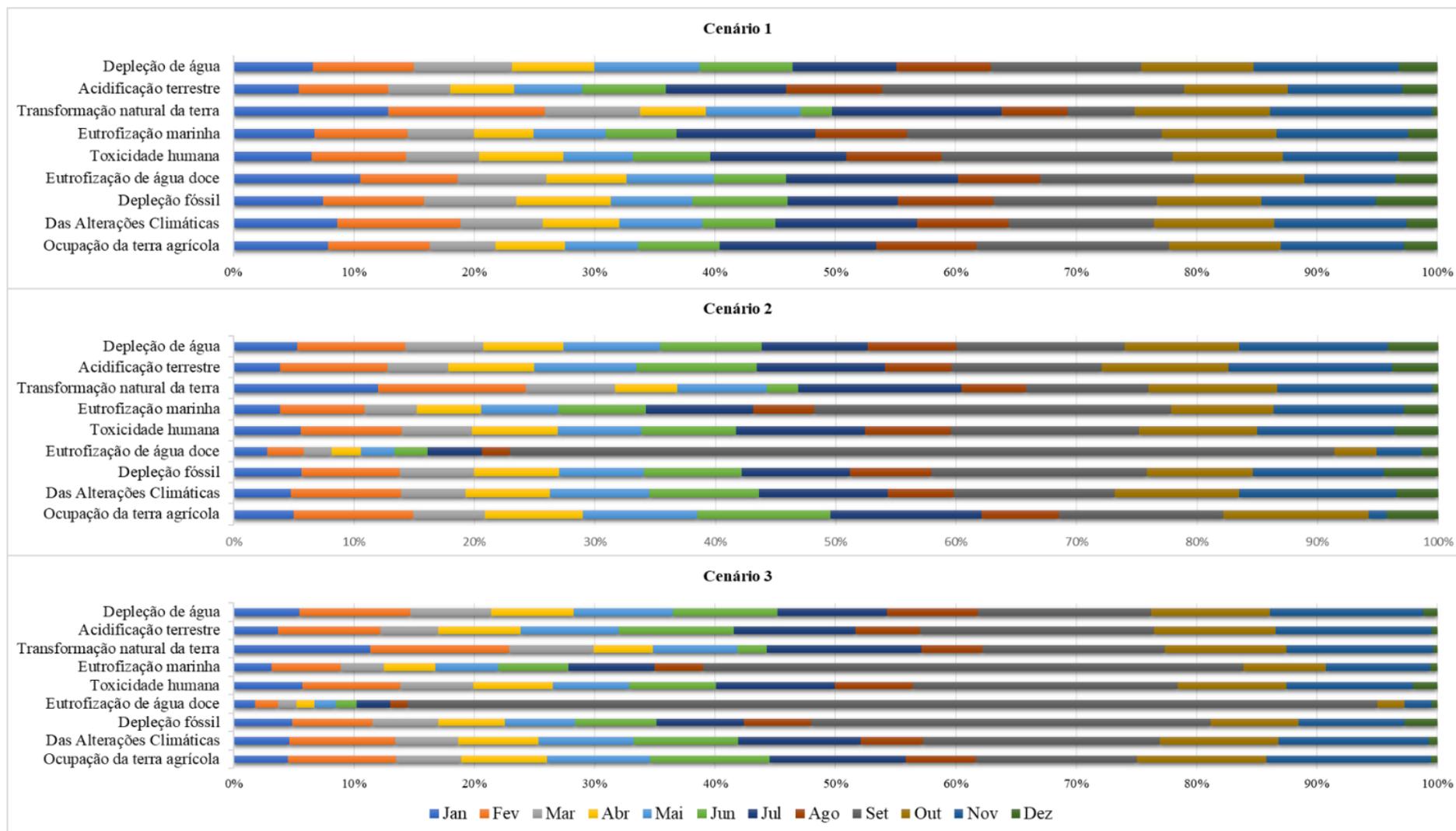
Embora relativamente baixos em comparação com a etapa de Produção, esses impactos derivam principalmente das emissões relacionadas ao uso de gás de cozinha e eletricidade. Os processos de Logística e Transporte e Fim de Vida têm contribuições mínimas. De acordo com a Tabela 2, na maioria das categorias, estes dois processos são responsáveis por não mais do que 1% do impacto. As duas únicas exceções são novamente para as categorias Esgotamento de recursos fósseis e Toxicidade humana, nas quais a Logística e Transporte contribuiu com 6,21%, e a Fim de Vida contribuiu com 3,34%, respectivamente.

Ainda de acordo com a Tabela 2, com exceção de Esgotamento de recursos fósseis, mais de 86% dos impactos ambientais potenciais em oito das nove categorias avaliadas no Cenário 2 estão no processo de Produção. Já no Cenário 3, mais de 95% dos encargos ambientais em sete das nove categorias avaliadas para o Cenário 1 estão no processo de Produção, sendo Esgotamento de recursos fósseis e Toxicidade humana as únicas exceções.

De acordo com as Tabelas A2.2 e A2.3, a produção de carne e laticínios presente nos Cenários 2 e 3 influenciou fortemente os resultados em todas as categorias. Os produtos com maior carga ambiental nestes dois cenários são variações diferentes da produção de carne. A produção de carne bovina é o principal aspecto mais impactante nas categorias Uso de terra agrícola, Mudanças climáticas, Acidificação terrestre, e Esgotamento de água doce nos Cenários 2 e 3. A produção de peixe é o maior contribuinte para o impacto das categorias Esgotamento de recursos fósseis, Eutrofização de água doce, Toxicidade humana, e Eutrofização marinha para os mesmos cenários. A produção de carne de porco ou frango segue como o responsável pelos impactos gerados secundários na maioria das categorias nestes dois cenários.

Outro resultado obtido do AICV é referente a sazonalidade dos impactos ambientais potenciais, ilustrada por meio da Figura 7 e Tabela 3. Em geral, verifica-se que os meses com maiores impactos ambientais potenciais são julho, setembro e novembro. Ocasionalmente, janeiro, fevereiro e outubro situam-se também entre os meses com maior impacto, dependendo do cenário e da categoria de impacto analisados. É também importante afirmar que, devido à lógica da ACV-O, não só os insumos alimentares são contabilizados no ICV, conseqüentemente, os encargos ambientais de outros bens também desempenham um papel nos resultados. As tabelas A2.1, A2.2 e A2.3, localizadas no Material Suplementar, mostram os responsáveis pelos impactos gerados primários e secundários dos três meses mais elevados da classificação por categoria para cada mês

Figura 7 – Distribuição mensal da AICV durante o ano.



Fonte: Elaboração própria (2022).

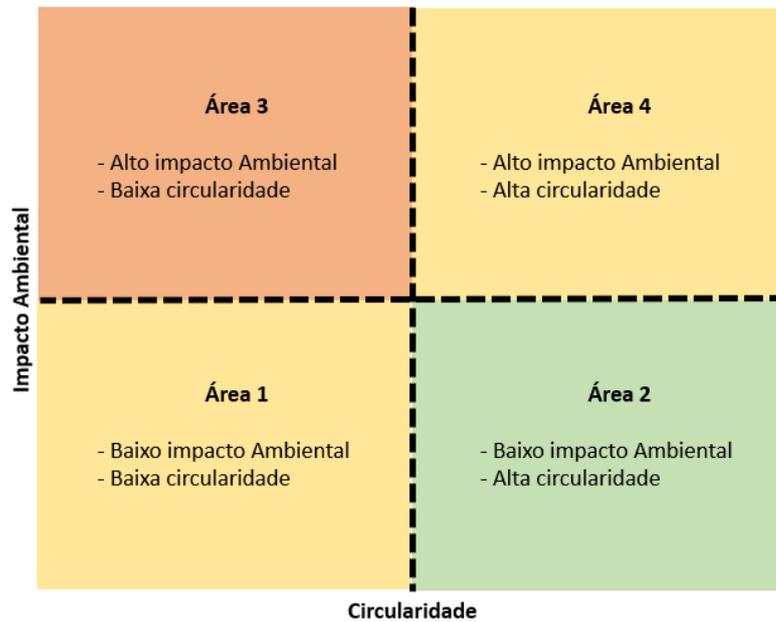
Tabela 3 – Resultados da AICV por mês.

<b>Categoria de Impacto</b>	<b>Unidade</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>
<b>Cenário 1</b>													
Uso de terra agrícola	m2a	2592,297	2760,999	1811,686	1887,170	1988,515	2232,609	4278,404	2748,940	5249,073	3054,651	3372,037	902,277
Mudanças climáticas	kg CO2-Eq	2399,243	2848,609	1918,417	1764,002	1917,984	1692,972	3279,577	2129,930	3365,435	2771,594	3062,800	714,147
Esgotamento de recursos fósseis	kg oleo-Eq	333,809	377,737	345,152	352,617	305,383	355,082	411,938	357,620	609,435	390,305	428,785	228,401
Eutrofização de água doce	kg P-Eq	0,551	0,423	0,384	0,347	0,382	0,311	0,746	0,357	0,671	0,476	0,397	0,181
Toxicidade humana	kg 1,4-DCB-Eq	501,702	612,671	466,096	547,300	446,087	497,427	878,995	611,059	1492,186	708,475	744,936	250,680
Eutrofização marinha	kg N-Eq	10,039	11,511	8,222	7,404	8,923	8,757	17,242	11,347	31,610	14,146	16,299	3,620
Transformação de terra natural	m2	16,068	16,243	9,858	6,850	9,765	3,263	17,653	6,845	6,935	14,067	16,820	0,504
Acidificação terrestre	kg SO2-Eq	11,146	15,224	10,674	10,835	11,573	14,307	20,535	16,299	51,560	17,640	19,511	5,982
Esgotamento de água doce	m3	6,521	8,270	8,040	6,758	8,652	7,615	8,542	7,751	12,310	9,219	11,918	3,137
<b>Cenário 2</b>													
Uso de terra agrícola	m2a	7756,890	15499,500	9235,864	12635,704	14848,702	17153,902	19514,001	10066,202	21269,000	18747,000	2371,100	6592,814
Mudanças climáticas	kg CO2-Eq	4895,676	9493,724	5487,238	7254,815	8522,314	9405,722	11059,803	5624,802	13856,600	10649,400	13542,000	3528,186
Esgotamento de recursos fósseis	kg oleo-Eq	476,337	684,744	520,734	592,866	588,998	688,189	756,540	569,550	1505,620	738,611	915,526	378,272
Eutrofização de água doce	kg P-Eq	0,703	0,763	0,589	0,619	0,712	0,693	1,136	0,579	17,327	0,885	0,940	0,342
Toxicidade humana	kg 1,4-DCB-Eq	685,367	1033,626	711,426	880,382	849,224	964,854	1315,952	874,275	1921,183	1207,728	1397,363	445,096
Eutrofização marinha	kg N-Eq	20,720	37,996	23,229	28,842	34,834	39,185	48,025	27,010	159,993	45,896	58,245	15,440
Transformação de terra natural	m2	16,193	16,510	10,007	7,014	10,051	3,489	18,324	7,163	13,770	14,434	17,348	0,639
Acidificação terrestre	kg SO2-Eq	45,467	103,963	59,460	83,836	99,409	117,080	124,225	65,217	145,964	123,440	158,928	44,547
Esgotamento de água doce	m3	14,304	24,164	17,595	17,897	21,734	22,725	23,822	19,821	37,695	25,779	33,303	11,198
<b>Cenário 3</b>													
Uso de terra agrícola	m2a	7907,102	15580,400	9457,757	12361,800	14952,000	17281,900	19614,700	10147,000	23350,900	18639,700	23859,500	901,543
Mudanças climáticas	kg CO2-Eq	5053,954	9636,565	5681,589	7313,220	8591,783	9491,258	11114,800	5689,748	21505,200	10753,100	13651,900	752,791
Esgotamento de recursos fósseis	kg oleo-Eq	519,974	709,960	584,950	595,333	619,187	725,465	778,050	593,212	3546,844	785,890	941,783	288,621
Eutrofização de água doce	kg P-Eq	0,750	0,793	0,658	0,620	0,744	0,733	1,159	0,605	33,831	0,936	0,969	0,182
Toxicidade humana	kg 1,4-DCB-Eq	805,574	1154,753	850,594	935,159	893,838	1020,183	1389,386	919,242	3108,432	1273,639	1483,765	287,411
Eutrofização marinha	kg N-Eq	21,431	38,725	24,036	29,184	35,090	39,502	48,241	27,272	303,321	46,270	58,763	3,848
Transformação de terra natural	m2	16,181	16,496	9,992	7,008	10,048	3,493	18,321	7,158	21,696	14,428	17,339	0,500
Acidificação terrestre	kg SO2-Eq	45,263	103,651	59,280	83,684	99,421	117,078	124,202	65,198	237,852	123,441	158,764	5,859
Esgotamento de água doce	m3	14,304	24,164	17,595	17,879	21,734	22,725	23,822	19,821	37,695	25,779	33,303	3,137

Fonte: Elaboração própria (2022).

Os resultados da comparação dos impactos ambientais para os diferentes cenários de práticas circulares da organização estão ilustrados na Figura 9 e Tabela 4. Os gráficos foram utilizados para analisar em conjunto o desempenho ambiental e circular, propostos por Alejandrino, Mercante e Bovea (2022) (Figura 8). O eixo y representa o impacto ambiental potencial (normalizado como na Figura 5) e o eixo x mostra a quantidade de práticas circulares do sistema, de maneira que cada cenário alternativo esteja em uma das quatro áreas.

Figura 8 - Quadrantes de impacto ambiental e circularidade.

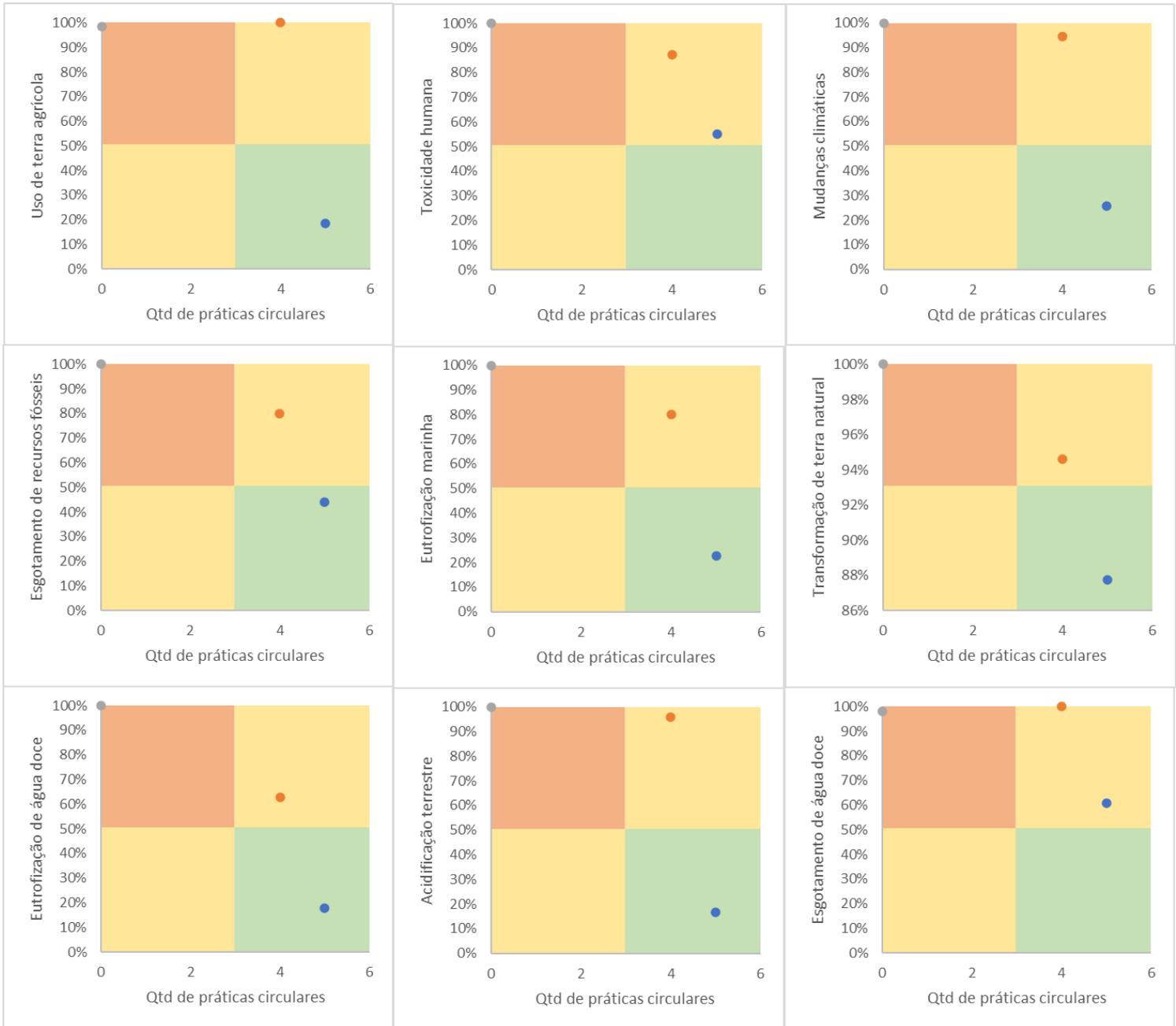


Fonte: Adaptado de Alejandrino, Mercante e Bovea (2022), tradução própria.

Tabela 4 – Comparação entre impacto ambiental potencial e circularidade.

<b>Categoria de Impacto</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>
Uso de terra agrícola	2	4	3
Mudanças climáticas	2	4	3
Esgotamento de recursos fósseis	2	4	3
Eutrofização de água doce	2	4	3
Toxicidade humana	4	4	3
Eutrofização marinha	2	4	3
Transformação de terra natural	2	4	3
Acidificação terrestre	2	4	3
Esgotamento de água doce	4	4	3

Figura 9 – Quadrantes de impacto ambiental potencial vs práticas circulares.



Fonte: Elaboração própria (2022).

Pode-se observar que o Cenário 1 ficou localizado na Área 2 (baixo impacto ambiental e alta circularidade) para sete das nove categorias de impacto analisadas, com exceção de Toxicidade Humana e Esgotamento de Água doce que se encontram na Área 4 (alto impacto ambiental e baixa circularidade). Já o Cenário 2 e 3, ficaram localizados nas áreas 3

(alto impacto ambiental e alta circularidade) e 4, respectivamente, para todas as categorias de impacto analisadas.

## 5 DISCUSSÃO

Os resultados podem indicar que o Cenário 1 é o menos impactante em todas as categorias de impacto. O aspecto mais crítico que diferencia os três cenários em termos de seu desempenho ambiental vem da produção de carne e laticínios (substituição feita em relação ao Cenário 1, com a premissa de que as refeições com e sem carne são equivalentes em termos nutricionais) presente nos Cenários 2 e 3, destacados pelas Tabelas A2. Estes resultados estão de acordo com o trabalho de Bruno *et al.* (2019) e González-García *et al.* (2018), que recorreram à ACV para avaliar a carga ambiental das escolhas alimentares em diferentes contextos, e argumentam que as dietas à base de plantas apresentam maiores benefícios ambientais. A Figura 5 ilustra a diferença que tal mudança alimentar causa no perfil ambiental do setor alimentício.

De fato, estes resultados ecoam as conclusões obtidas pelas extensas revisões de literatura realizadas por Sadhukhan *et al.* (2020) e Chai *et al.* (2019). O primeiro argumenta que dois dos principais desafios globais do século 21 para a transição da atual cultura de consumo descartável (economia linear) para uma economia circular estão relacionados a mudanças dietéticas sistêmicas e melhores práticas de eliminação de resíduos. Os autores afirmam que, para atingir as atuais metas climáticas, é necessário que os insumos alimentícios sejam cultivados de forma regenerativa e ambientalmente sustentável com maior frequência. Além disso, Chai *et al.* (2019) sustentam este ponto de vista afirmando que agora, as produções científicas fornecem evidências robustas apoiando a transição para um sistema alimentar mais sustentável, no qual uma dieta 100% vegetal (por exemplo, vegana) contribui substancialmente para a redução dos impactos relacionados ao sistema alimentício e fortalece ainda mais a implementação de estratégias de economia circular.

O Cenário 3, que se assemelha às práticas comuns (economia linear) de um restaurante convencional no Brasil, se opõe claramente ao perfil ambiental do restaurante descrito pelo Cenário 1. Portanto, o aumento da percepção do consumidor em relação aos tópicos relacionados à sustentabilidade descritos na literatura recente (NASPETTI *et al.*, 2021; PETERSON *et al.*, 2021; QI E PLOEGER, 2021) é crucial para o desenvolvimento de modelos de negócios de EC no sistema alimentício (DAGEVOS E LAUWERE, 2021; ZUCHELLA E PREVITALI, 2019), o que poderia proporcionar uma redução substancial das emissões globais

de CO<sub>2</sub> nos sistemas de serviço alimentício e no setor alimentício. Entretanto, como apontado por Chai *et al.* (2019), é importante ressaltar que, para que uma dieta à base de plantas produza todos os seus benefícios, devem ser preferidos produtos locais que minimizem o impacto ambiental do transporte.

Os resultados também mostram que, embora não tão substancial como o impacto ambiental potencial associado à inclusão da carne e dos laticínios no menu do restaurante, a implementação de outras práticas circulares, como Práticas de R's, Utilização de energia e materiais renováveis e Processos projetados para minimização de resíduos, além da escolha pelo Localismo, proporcionaram melhorias consideráveis no desempenho ambiental do sistema. Isso pode ser justificado pela diferença de resultados entre os Cenários 2 e 3, especialmente em relação às categorias de impacto Esgotamento de recursos fósseis, Eutrofização de água doce, Toxicidade humana e Eutrofização marinha, mas também presentes nas categorias Mudanças climáticas e Transformação de terra natural (Figura 5). Os aspectos mais determinantes, neste caso, são a redução das embalagens plásticas e a compostagem. Nos Cenários 1 e 2, a grande maioria dos produtos é embalada utilizando opções compostáveis e recicláveis à base de papel. Por outro lado, todos os produtos do Cenário 3 são embalados utilizando embalagens plásticas.

A influência do localismo também é destacada nos resultados deste estudo. Como ilustrado na Figura 6, o principal aspecto mais impactante de todos os cenários é a fase de Produção. Esta constatação reafirma os resultados das publicações relacionadas aos serviços alimentares de Jungbluth *et al.* (2016), Cerutti *et al.*, (2018), Mistretta *et al.* (2019) e González-García *et al.* (2020). Em todos os estudos mencionados, a produção e aquisição de insumos são destacados como o principal fator que aumenta os impactos ambientais potenciais dos sistemas analisados. Embora separados por razões metodológicas neste estudo, Produção e Logística e Transporte estão fortemente interligados nas atividades do dia a dia do setor alimentício.

Consequentemente, com base nas discrepâncias encontradas entre os resultados encontrados para os Cenários 2 e 3 (Tabela 1, figura 6), evidencia-se os benefícios da produção local de alimentos como um meio para a redução do impacto ambiental das cadeias de valor dos alimentos. Ao aplicar o localismo a suas práticas de abastecimento, as empresas podem reduzir sua pegada ambiental devido à diminuição das emissões relacionadas ao transporte de mercadorias (CHAI *et al.*, 2019), melhorar o acesso a alimentos ricos em nutrientes (VIEIRA *et al.*, 2021), beneficiar os membros da comunidade local (SCHOOLMAN, 2020). Além disso,

como foi apontado pela EMF (2019b), o localismo aplicado ao setor alimentício influencia diretamente o encurtamento e as cadeias de valor, um tópico central do discurso da EC.

Outra diferença relativamente significativa diz respeito à implementação da compostagem nos Cenários 1 e 2. Como todos os resíduos são destinados ao aterro sanitário sem triagem prévia no Cenário 3 (uma prática comum no Brasil, já que a maioria das cidades ainda não possui sistemas específicos de coleta e tratamento de resíduos orgânicos (ALFAIA *et al.*, 2017)), seu maior impacto em relação aos outros dois cenários podem estar ligado ao aumento das emissões provenientes do transporte de resíduos (por meio de caminhões de lixo movidos a diesel) e das emissões ligadas às práticas de aterro. A implementação de práticas circulares, incluindo a compostagem em toda a empresa é, então, comprovadamente benéfica para o sistema estudado.

Conforme pode ser observado na Figura 9 e Tabela 4, a diminuição da circularidade contribuiu negativamente para a performance ambiental da organização. Com exceção de duas categorias de impacto (Toxicidade humana e Esgotamento de água doce), o Cenário 1 (com maior número de práticas circulares) ficou localizado na Área de menor impacto ambiental e maior circularidade, e ainda assim, ficou mais próximo da Área 2 que os outros dois cenários nessas mesmas categorias. Pode-se observar na Figura 5 que a prática circular Escolha de sistemas regenerativos foi a que teve maior efeito nos impactos ambientais potenciais, uma vez que os Cenários 2 e 3 (que possuem insumos provindos de uma agricultura e pecuária não regenerativas) tiveram maiores encargos ambientais em todas as categorias de impacto analisadas.

Para o estudo de caso em questão, a implementação das práticas circulares no restaurante mostrou resultados positivos, pois o Cenário 3 superou os outros dois cenários em sete das nove categorias de impacto analisadas (Figura 5). Estes resultados implicam que o setor alimentício pode ser uma plataforma para a implementação e divulgação dos princípios de EC, contribuindo, em última instância, para uma maior circularidade e menores impactos ambientais. Os sistemas alimentícios, uma vez inseridos no modelo EC, podem reduzir a perda e o desperdício de alimentos (DE OLIVEIRA *et al.*, 2021), contribuir substancialmente para enfrentar as mudanças climáticas (EMF, 2019a), e promover a agricultura e cadeias de valor regenerativas (DAGEVOS E LAUWERE, 2021).

## 6 CONCLUSÕES

Os benefícios de avançar em direção a um sistema mais alinhado com a EC têm sido amplamente discutidos na literatura recente. Dentro deste contexto, o setor alimentício, com sua enorme capilaridade e interconexões entre diferentes partes interessadas da cadeia de valor, e alta concentração de PMEs, funciona como uma plataforma para a implementação e experimentação de procedimentos comuns aos sistemas circulares incorporados no setor alimentício. Ao mesmo tempo, a busca cega da implementação de práticas circulares pode resultar em *trade-offs* ambientais em toda a cadeia de valor. Neste projeto foi escolhido um estudo de caso dirigido a um restaurante vegano certificado Lixo-Zero, localizado em Florianópolis/SC, para avaliar os impactos ambientais potenciais decorrentes da adoção de práticas circulares.

Os resultados mostram que o Cenário 1, com maior quantidade de práticas circulares, obteve menor impacto ambiental em todas as categorias de impacto escolhidas entre os cenários analisados. De todas as características alteradas entre os três cenários, a exclusão de carne e laticínios (presente apenas no Cenário 1) foi o principal *hotspot* ambiental identificado. O direcionamento dos resíduos para reciclagem e compostagem (presente nos Cenários 1 e 2) também mostrou melhorias substanciais no perfil ambiental do sistema. Os resultados também evidenciam que o funcionamento do serviço alimentar convencional encontrado no Brasil, exemplificado pelo Cenário 3, tem muito a ganhar com a aplicação de EC. Além disso, os resultados ecoaram a literatura anterior e apontaram a Produção como o processo com maior carga ambiental em todos os cenários analisados.

De acordo com Esposito *et al.* (2020), uma abordagem colaborativa entre PMEs, empresas maiores e o governo são cruciais para abraçar a sustentabilidade como um imperativo empresarial e para a adoção de modelos que criam valor compartilhado e impulsionam a mudança sistêmica em direção à EC, especialmente quando ligados à alimentação. Neste contexto, reitera-se os impactos positivos das práticas circulares aplicadas pelo Cenário 1 (para informações detalhadas, consulte a Seção 2.1.1). Este estudo de caso evidencia que o movimento para uma lógica baseada em EC no setor alimentício pode orientar a transição de toda a cadeia de valor para EC, uma vez que a operacionalização de práticas circulares como compostagem em larga escala, reciclagem e mudanças nas opções de embalagem é inatamente colaborativa entre muitas partes interessadas. Portanto, se estendidas a outros casos do setor alimentício, ou *upscaled* para sistemas maiores, as práticas implementadas no Cenário 1

poderiam contribuir ainda mais para enfrentar as questões climáticas e contribuir para a EC em escala global.

Cabe destacar algumas limitações e recomendações do trabalho relacionados metodologia, em que um dos principais desafios da aplicação da ACV-O no setor alimentício está ligado aos procedimentos de coleta de dados, o que já foi evidenciado por Jungbluth *et al.* (2016). A coleta de dados é uma limitação comum nos projetos ACV-O, especialmente no que diz respeito à invariabilidade dos dados primários e informações relativas às atividades indiretas (MARTÍNEZ-BLANCO *et al.*, 2020). Uma vez que restaurantes frequentemente dependem de uma multiplicidade de fornecedores e um número ainda maior de suprimentos, a coleta de dados pode se tornar exaustiva e demorada.

Ainda, recomenda-se seguir um dos procedimentos frequentemente desconsiderado descrito no Guia da ACV-O (UNEP, 2015) - a identificação de atividades indiretas e diretas (Figura 4). Esta abordagem permite ao usuário não apenas identificar pontos de melhoria que podem ser realizados direta e indiretamente pela organização, mas também determinar de forma mais clara quais dados devem ser rastreados durante a fase de desenvolvimento de ICV. Além disso, outros desafios deste estudo, também listados por Martínez-Blanco *et al.* (2020) e Forin *et al.* (2019), foram relacionadas às definições ligadas à fase de Definição de Objetivo e Escopo da ACV-O (como por exemplo, a definição dos limites do sistema, fluxos de referência). Uma vez esclarecidas essas questões, as fases de modelagem e avaliação de impacto ocorreram de forma direta.

Com relação a pergunta de pesquisa: **“A adoção de práticas circulares pode diminuir os impactos ambientais potenciais de uma PME do setor alimentício?”** foi observado que de fato, para o estudo de caso em questão, quanto maior a quantidade de práticas circulares, menores os impactos ambientais potenciais na maioria das categorias de impacto analisadas. O Cenário 1, com maior quantidade de práticas circulares, teve melhor desempenho ambiental em todas as nove categorias de impacto avaliadas, enquanto o Cenário 3, caracterizado por um restaurante convencional (mais aderente a economia linear), obteve o pior desempenho ambiental.

O objetivo geral desta dissertação, definido como **“Avaliar os impactos ambientais potenciais decorrentes de práticas circulares em organizações do setor alimentício”**, foi alcançado, uma vez esta pesquisa descreveu o procedimento metodológico para tal, bem como obteve resultados de perfil ambiental para um estudo de caso considerando diferentes cenários, e interpretou os resultados atrelados as práticas circulares.

Quanto ao objetivo específico (i), **“Quantificar os impactos ambientais potenciais de um restaurante por meio da ACV-O, considerando diferentes cenários de práticas circulares”**, considera-se que foi alcançado por meio da aplicação da ACV-O, mais especificamente na etapa de AICV, para os três diferentes cenários analisados.

Com relação ao objetivo específico (ii), **“Avaliar qual a consequência da adoção de diferentes práticas circulares sobre os impactos ambientais potenciais da organização”**, este foi alcançado por meio da etapa de interpretação da ACV-O, incluindo a aplicação dos quadrantes de impacto ambiental potencial e circularidade, para os três diferentes cenários analisados.

A partir do atendimento dos objetivos deste trabalho, podemos concluir que, para o estudo de caso em questão, as práticas circulares foram ambientalmente benéficas para a organização.

Pode-se destacar como principais desafios e limitações deste estudo o extenso processo de coleta de dados necessário para a avaliação, a ausência de análise sensibilidade dos resultados de AICV e ausência de quantificação de percentual de circularidade do sistema para os diferentes cenários.

Estudos futuros podem aplicar Indicadores de Circularidade com o objetivo de medir o impacto das práticas circulares na circularidade do sistema, construir uma estrutura de dados em painel, com maior temporalidade e de outras PMEs do setor alimentício (e possivelmente de outros setores), e aplicar a mesma abordagem para que os resultados demonstrem maior robustez estatística e validação externa.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14040**: avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2009a, 21 p.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14044**: avaliação do ciclo de vida: requisitos e orientações. Rio de Janeiro: ABNT, 2009b, 46 p.
- AL-SAIDI, Mohammad; DAS, Probir; SAADAOU, Imen. Circular economy in basic supply: framing the approach for the water and food sectors of the gulf cooperation council countries. **Sustainable Production and Consumption**, v. 27, p. 1273-1285, 2021.
- ALEJANDRINO, Clarisa; MERCANTE, Irma T.; BOVEA, María D. Combining O-LCA and O-LCC to support circular economy strategies in organizations: Methodology and case study. **Journal of Cleaner Production**, p. 130365, 2022.
- ALFAIA, Raquel Greice de Souza Marotta; COSTA, Alyne Moraes; CAMPOS, Juacyara Carbonelli. Municipal solid waste in Brazil: A review. **Waste Management & Research**, v. 35, n. 12, p. 1195-1209, 2017.
- AYRES, Robert U.; KNEESE, Allen V. Production, consumption, and externalities. **The American Economic Review**, v. 59, n. 3, p. 282-297, 1969.
- AZNAR-SÁNCHEZ, José A. et al. Indicators for circular economy in the agri-food sector. **Resour. Conserv. Recycl.**, v. 163, p. 105028, 2020.
- BABBITT, Callie W. *et al.* Closing the loop on circular economy research: From theory to practice and back again. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 135, p. 1-2, 2018.
- BALDWIN, Cheryl; WILBERFORCE, Nana; KAPUR, Amit. Restaurant and food service life cycle assessment and development of a sustainability standard. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 16, n. 1, p. 40-49, 2011.
- BELAUD, Jean-Pierre *et al.* Big data for agri-food 4.0: Application to sustainability management for by-products supply chain. **Computers in Industry**, v. 111, p. 41-50, 2019.
- BLOMSMA, Fenna *et al.* Developing a circular strategies framework for manufacturing companies to support circular economy-oriented innovation. **Journal of Cleaner Production**, v. 241, p. 118271, 2019.
- BORRELLO, Massimiliano *et al.* The seven challenges for transitioning into a bio-based circular economy in the agri-food sector. **Recent patents on food, nutrition & agriculture**, v. 8, n. 1, p. 39-47, 2016.
- BOS, Harriette L.; BROEZE, Jan. Circular bio-based production systems in the context of current biomass and fossil demand. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 14, n. 2, p. 187-197, 2020.

BOULDING, Kenneth. E., 1966, the economics of the coming spaceship earth. **New York**, 1966.

BRUNO, Morena *et al.* The carbon footprint of Danish diets. **Climatic Change**, v. 156, n. 4, p. 489-507, 2019.

**BSI. Framework for implementing the principles of the circular economy in organizations – Guide**, BSI Standards Limited 2017, 2017.

CASTRO, Camila Gonçalves *et al.* The rebound effect of circular economy: Definitions, mechanisms and a research agenda. **Journal of Cleaner Production**, p. 131136, 2022.

CAYZER, Steve; GRIFFITHS, Percy; BEGHETTO, Valentina. Design of indicators for measuring product performance in the circular economy. **International Journal of Sustainable Engineering**, v. 10, n. 4-5, p. 289-298, 2017.

CERUTTI, Alessandro K. *et al.* Modelling, assessing, and ranking public procurement options for a climate-friendly catering service. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 23, n. 1, p. 95-115, 2018.

CHAI, Bingli Clark *et al.* Which diet has the least environmental impact on our planet? A systematic review of vegan, vegetarian and omnivorous diets. **Sustainability**, v. 11, n. 15, p. 4110, 2019.

CHICHILNISKY, Graciela. What is sustainable development?. **Land Economics**, p. 467-491, 1997.

CICCULLO, Federica *et al.* Implementing the circular economy paradigm in the agri-food supply chain: The role of food waste prevention technologies. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 164, p. 105114, 2021.

COBO, Selene; DOMINGUEZ-RAMOS, Antonio; IRABIEN, Angel. Trade-offs between nutrient circularity and environmental impacts in the management of organic waste. **Environmental science & technology**, v. 52, n. 19, p. 10923-10933, 2018.

COLLEY, Tracey A. *et al.* Using a gate-to-gate LCA to apply circular economy principles to a food processing SME. **Journal of cleaner production**, v. 251, p. 119566, 2020.

CREMER, Alexander *et al.* A framework for environmental decision support in cities incorporating organizational LCA. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 25, n. 11, p. 2204-2216, 2020.

DANTAS, Thales ET *al.* How the combination of Circular Economy and Industry 4.0 can contribute towards achieving the Sustainable Development Goals. **Sustainable Production and Consumption**, v. 26, p. 213-227, 2021.

DAS NEVES GOMES, Esp Alcir; DA SILVA, Maria Lúcia Pereira. Study of generation, separation and collection of waste and co-products in restaurants: a case study. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 5, p. 37242-37256, 2022.

DAGEVOS, Hans; LAUWERE, Carolien de. Circular business models and circular agriculture: perceptions and practices of Dutch farmers. **Sustainability**, v. 13, n. 3, p. 1282, 2021.

DE ANGELIS, Roberta; HOWARD, Mickey; MIEMCZYK, Joe. Supply chain management and the circular economy: towards the circular supply chain. **Production Planning & Control**, v. 29, n. 6, p. 425-437, 2018.

DE CAMARGO, André Moreira *et al.* The implementation of organizational LCA to internally manage the environmental impacts of a broad product portfolio: an example for a cosmetics, fragrances, and toiletry provider. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 24, n. 1, p. 104-116, 2019.

DE OLIVEIRA, Carla Tognato; DANTAS, Thales Eduardo Tavares; SOARES, Sebastião Roberto. Nano and Micro Level Circular Economy Indicators: Assisting decision-makers in circularity assessments. **Sustainable Production and Consumption**, 2021.

DE SOUZA JUNIOR, Henrique Rogerio Antunes *et al.* Measuring the environmental performance of a circular system: Emergy and LCA approach on a recycle polystyrene system. **Science of The Total Environment**, v. 726, p. 138111, 2020.

DO CANTO, Natália Rohenkohl; GRUNERT, Klaus G.; DE BARCELLOS, Marcia Dutra. Circular food behaviors: a literature review. **Sustainability**, v. 13, n. 4, p. 1872, 2021.

DOSSA, Alvaro Augusto *et al.* Diffusion of circular economy practices in the UK wheat food supply chain. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v. 25, n. 3, p. 328-347, 2022.

DYBDAHL, Linn Meidell. Business model innovation for sustainability through localism. In: **Innovation for Sustainability**. Palgrave Macmillan, Cham, 2019. p. 193-211.

ELIA, Valerio; GNONI, Maria Grazia; TORNESE, Fabiana. Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 2741-2751, 2017.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (EMF). Circularity Indicators: An Approach to Measure Circularity. Methodology & Project Overview, Cowes, UK. 2015. Disponível em: [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/insight/Circularity-Indicators\\_Project-Overview\\_May2015.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/insight/Circularity-Indicators_Project-Overview_May2015.pdf). Acesso em 7 jan. 2022.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (EMF). Completing the picture: How the circular economy tackles climate change. 2019a.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (EMF). Cities and Circular Economy for Food. 2019b.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (EMF). 2012. "Towards the Circular Economy Report Volume 1: An Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition." Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/towards-the-circular->

economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an-accelerated-transition. Acesso em 18 dez. 2021.

ERKMAN, Suren. Industrial ecology: an historical view. **Journal of cleaner production**, v. 5, n. 1-2, p. 1-10, 1997.

ESBENSEN, Kim H.; VELIS, Costas. Transition to circular economy requires reliable statistical quantification and control of uncertainty and variability in waste. **Waste Management & Research**, v. 34, n. 12, p. 1197-1200, 2016.

ESPOSITO, Benedetta *et al.* Towards circular economy in the agri-food sector. A systematic literature review. **Sustainability**, v. 12, n. 18, p. 7401, 2020.

EUROSTAT. Small and medium-sized enterprises: an overview. (2020). Disponível em: [FAO. Global food losses and food waste - Extent, causes and prevention. Rome, 2011.](https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20200514-1#:~:text=In%202017%2C%20there%20were%2022.2,for%2067%25%20of%20all%20empl oyed. Acesso em: 07 maio 2022.</a></p>
</div>
<div data-bbox=)

FASSIO, Franco; TECCO, Nadia. Circular economy for food: A systemic interpretation of 40 case histories in the food system in their relationships with SDGs. **Systems**, v. 7, n. 3, p. 43, 2019.

FERNANDEZ-MENA, Hugo *et al.* Flows in Agro-food Networks (FAN): An agent-based model to simulate local agricultural material flows. **Agricultural Systems**, v. 180, p. 102718, 2020.

FIGGE, Frank; THORPE, Andrea Stevenson. The symbiotic rebound effect in the circular economy. **Ecological Economics**, v. 163, p. 61-69, 2019.

FORIN, Silvia; MARTÍNEZ-BLANCO, Julia; FINKBEINER, Matthias. Facts and figures from road testing the guidance on organizational life cycle assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 24, n. 5, p. 866-880, 2019.

FUSI, Alessandra; GUIDETTI, Riccardo; AZAPAGIC, Adisa. Evaluation of environmental impacts in the catering sector: the case of pasta. **Journal of Cleaner Production**, v. 132, p. 146-160, 2016.

FYTILI, Despoina; ZABANIOTOU, Anastasia. Circular economy synergistic opportunities of decentralized thermochemical systems for bioenergy and biochar production fueled with agro-industrial wastes with environmental sustainability and social acceptance: a review. **Current Sustainable/Renewable Energy Reports**, v. 5, p. 150-155, 2018.

GARCÍA-MUIÑA, Fernando *et al.* Industry 4.0-based dynamic Social Organizational Life Cycle Assessment to target the social circular economy in manufacturing. **Journal of Cleaner Production**, v. 327, p. 129439, 2021.

GARZA-REYES, Jose Arturo *et al.* A circularity measurement toolkit for manufacturing SMEs. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 23, p. 7319-7343, 2019.

GEISSDOERFER, Martin *et al.* Business models and supply chains for the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 190, p. 712-721, 2018.

GENG, Yong; DOBERSTEIN, Brent. Developing the circular economy in China: Challenges and opportunities for achieving 'leapfrog development'. **The International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 15, n. 3, p. 231-239, 2008.

GHISELLINI, Patrizia; CIALANI, Catia; ULGIATI, Sergio. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner production**, v. 114, p. 11-32, 2016.

GHISELLINI, Patrizia; RIPA, Maddalena; ULGIATI, Sergio. Exploring environmental and economic costs and benefits of a circular economy approach to the construction and demolition sector. A literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 178, p. 618-643, 2018.

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. Ecological Footprint Index. 2022. Disponível em: <https://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/>. Acesso em: 08 jan. 2022.

GLOGIC, Edis; SONNEMANN, Guido; YOUNG, Steven B. Environmental Trade-Offs of Downcycling in Circular Economy: Combining Life Cycle Assessment and Material Circularity Indicator to Inform Circularity Strategies for Alkaline Batteries. **Sustainability**, v. 13, n. 3, p. 1040, 2021.

GONZÁLEZ-GARCÍA, Sara *et al.* Carbon footprint and nutritional quality of different human dietary choices. **Science of the total environment**, v. 644, p. 77-94, 2018.

GONZÁLEZ-GARCÍA, Sara *et al.* Tracking the environmental footprints of institutional restaurant service in nursery schools. **Science of The Total Environment**, v. 728, p. 138939, 2020.

GRAEDEL, T. E.; ALLENBY, B. R. Hierarchical metrics for sustainability. **Environmental Quality Management**, v. 12, n. 2, p. 21-21, 2002.

GUINÉE, Jeroen; HEIJUNGS, Reinout. Introduction to life cycle assessment. In: **Sustainable supply chains**. Springer, Cham, p. 15-41, 2017.

GUO, Su-Ling. Agricultural Foods Economic Efficiency Evaluation Based on DEA. **Advance Journal of Food Science and Technology**, v. 8, n. 7, p. 472-475, 2015.

HAAS, Willi *et al.* How circular is the global economy? An assessment of material flows, waste production, and recycling in the European Union and the world in 2005. **Journal of industrial ecology**, v. 19, n. 5, p. 765-777, 2015.

HAHLADAKIS, John N.; IACOVIDOU, Eleni. An overview of the challenges and trade-offs in closing the loop of post-consumer plastic waste (PCPW): Focus on recycling. **Journal of hazardous materials**, v. 380, p. 120887, 2019.

HAMAM, Manal *et al.* Circular economy models in agro-food systems: A review. **Sustainability**, v. 13, n. 6, p. 3453, 2021.

HAUSCHILD, Michael Z.; ROSENBAUM, Ralph K.; OLSEN, S. Life cycle assessment. **Springer**, 2018.

HOMRICH, Aline Sacchi *et al.* The circular economy umbrella: Trends and gaps on integrating pathways. **Journal of Cleaner Production**, v. 175, p. 525-543, 2018.

HUIJBREGTS, Mark A. J. *et al.* ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. **The International Journal Of Life Cycle Assessment**, Springer Science and Business Media LLC, [s.l.], v. 22, n. 2, p.138-147, 2016.

ILZB - Instituto Lixo Zero Brasil. Certificação Lixo Zero. 2018. Disponível em: <https://certificacaolixozero.com.br/o-que-fazemos/>. Acesso em: 08 jan. 2022.

ISO 14044. Environmental management: life cycle assessment; Requirements and Guidelines. (Vol. 14044). **International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland**, 2006a.

ISO 14040. Environmental Management: Life Cycle Assessment; Principles and Framework (Vol. 14044). **International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland**, 2006b.

ISO, ISO. TS 14072: Environmental Management—Life Cycle Assessment—Requirements and Guidelines for Organizational Life Cycle Assessment. **International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland**, 2014.

JABBOUR, Charbel Jose Chiappetta *et al.* Stakeholders, innovative business models for the circular economy and sustainable performance of firms in an emerging economy facing institutional voids. **Journal of environmental management**, v. 264, p. 110416, 2020.

JUNGBLUTH, Niels; KELLER, Regula; KÖNIG, Alex. ONE TWO WE—life cycle management in canteens together with suppliers, customers and guests. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, n. 5, p. 646-653, 2016.

JURGILEVICH, Alexandra *et al.* Transition towards circular economy in the food system. **Sustainability**, v. 8, n. 1, p. 69, 2016.

KHAN, Shahbaz; HALEEM, Abid. Investigation of circular economy practices in the context of emerging economies: a CoCoSo approach. **International Journal of Sustainable Engineering**, v. 14, n. 3, p. 357-367, 2021.

KIRCHHERR, Julian; REIKE, Denise; HEKKERT, Marko. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, conservation and recycling**, v. 127, p. 221-232, 2017.

KLÖPFFER, Walter; GRAHL, Birgit. **Life cycle assessment (LCA): a guide to best practice**. John Wiley & Sons, 2014.

KRAVCHENKO, Mariia; PIGOSSO, Daniela CA; MCALOONE, Tim C. A trade-off navigation framework as a decision support for conflicting sustainability indicators within circular economy implementation in the manufacturing industry. **Sustainability**, v. 13, n. 1, p. 314, 2020.

LÈBRE, Éléonore; CORDER, Glen; GOLEV, Artem. The role of the mining industry in a circular economy: a framework for resource management at the mine site level. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 662-672, 2017.

LIEDER, Michael; RASHID, Amir. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. **Journal of cleaner production**, v. 115, p. 36-51, 2016.

LINDER, Marcus; SARASINI, Steven; VAN LOON, Patricia. A metric for quantifying product-level circularity. *Journal of Industrial Ecology*, v. 21, n. 3, p. 545-558, 2017.

LUNDQVIST, Jan *et al.* Saving water: from field to fork: curbing losses and wastage in the food chain. 2008.

MARGALLO, María; ALDACO, Rubén; IRABIEN, Ángel. Environmental management of bottom ash from municipal solid waste incineration based on a life cycle assessment approach. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 16, n. 7, p. 1319-1328, 2014.

MARSIGLIO, Simone. On the relationship between population change and sustainable development. **Research in Economics**, 65, 353–364. 2011.

MARTÍNEZ-BLANCO, Julia; INABA, Atsushi; FINKBEINER, Matthias. Scoping organizational LCA—challenges and solutions. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20, n. 6, p. 829-841, 2015.

MARTÍNEZ-BLANCO, Julia; FORIN, Silvia; FINKBEINER, Matthias. Challenges of organizational LCA: lessons learned from road testing the guidance on organizational life cycle assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 25, n. 2, p. 311-331, 2020.

MASI, Donato *et al.* Towards a more circular economy: exploring the awareness, practices, and barriers from a focal firm perspective. **Production Planning & Control**, v. 29, n. 6, p. 539-550, 2018.

MCDONOUGH, Willian; BRAUNGART, Michael. **Cradle to cradle: Remaking the way we make things**. [S.l.]: North point press, 2010.

MESA, Jaime; ESPARRAGOZA, Iván; MAURY, Heriberto. Developing a set of sustainability indicators for product families based on the circular economy model. **Journal of cleaner production**, v. 196, p. 1429-1442, 2018.

MISTRETTA, Marina *et al.* Energy and environmental life cycle assessment of an institutional catering service: An Italian case study. **Science of the Total Environment**, v. 657, p. 1150-1160, 2019.

MEADOWS, Donella H. *et al.* The limits to growth: a report to the club of Rome (1972). **Google Scholar**, v. 91, 1972.

MOLINA-MORENO, Valentín *et al.* Design of indicators of circular economy as instruments for the evaluation of sustainability and efficiency in wastewater from pig farming industry. **Water**, v. 9, n. 9, p. 653, 2017.

MORENO, Valeria Casson *et al.* Techno-economic and environmental sustainability of biomass waste conversion based on thermocatalytic reforming. **Waste management**, v. 101, p. 106-115, 2020.

NASPETTI, Simona *et al.* Consumer perception of sustainable practices in dairy production. **Agricultural and Food Economics**, v. 9, n. 1, p. 1-26, 2021.

NIERO, Monia; KALBAR, Pradip P. Coupling material circularity indicators and life cycle based indicators: A proposal to advance the assessment of circular economy strategies at the product level. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 140, p. 305-312, 2019.

PARFITT, Julian; BARTHEL, Mark; MACNAUGHTON, Sarah. Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050. **Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences**, v. 365, n. 1554, p. 3065-3081, 2010.

PAULIUK, Stefan. Critical appraisal of the circular economy standard BS 8001: 2017 and a dashboard of quantitative system indicators for its implementation in organizations. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 129, p. 81-92, 2018.

PEÑA, Claudia *et al.* Using life cycle assessment to achieve a circular economy. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, p. 1-6, 2021.

POPONI, Stefano *et al.* Evaluating the transition to the circular economy in the agri-food sector: Selection of indicators. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 176, p. 105916, 2022.

RYAN, Chris. Life cycle analysis and design: A productive relationship. 1996.

ROSENBOOM, Jan-Georg; LANGER, Robert; TRAVERSO, Giovanni. Bioplastics for a circular economy. **Nature Reviews Materials**, v. 7, n. 2, p. 117-137, 2022.

ROSSI, Efigênia *et al.* Circular economy indicators for organizations considering sustainability and business models: Plastic, textile and electro-electronic cases. **Journal of Cleaner Production**, v. 247, p. 119137, 2020.

SADHUKHAN, Jhuma *et al.* Perspectives on “game changer” global challenges for sustainable 21st century: plant-based diet, unavoidable food waste biorefining, and circular economy. **Sustainability**, v. 12, n. 5, p. 1976, 2020.

SAIDANI, Michael *et al.* How to assess product performance in the circular economy? Proposed requirements for the design of a circularity measurement framework. **Recycling**, v. 2, n. 1, p. 6, 2017.

STAHEL, Walter. **The performance economy**. Springer, 2010.

SCHOOLMAN, Ethan D. Local food and civic engagement: do farmers who market local food feel more responsible for their communities?. **Rural Sociology**, v. 85, n. 3, p. 806-839, 2020.

SEBRAE. Pequenos negócios em números. (2018). Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/sp/sebraeaz/pequenos-negocios-em-numeros,12e8794363447510VgnVCM1000004c00210aRCRD>. Acesso em 10 maio 2022.

SHAKED, Shanna *et al.* **Environmental life cycle assessment**. CRC Press, 2015.

STAHEL, Walter R. Sustainability and the performance economy. In: **The Performance Economy**. Palgrave Macmillan, London, p. 269-287, 2010.

UNEP SETAC LIFE CYCLE INITIATIVE. Circularity Platform (2020a). Disponível em: <https://buildingcircularity.org/>. Acesso em 03 fev. 2022.

UNEP SETAC LIFE CYCLE INITIATIVE *et al.* Single-use plastic bags and their alternatives: recommendations from Life Cycle Assessments (2020b). Disponível em: <https://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2020/04/Single-use-plastic-bags-and-alternatives-Recommendations-from-LCA-final.pdf>. Acesso em 01 fev. 2022.

UNEP SETAC LIFE CYCLE INITIATIVE *et al.* Guidance on Organizational Life Cycle Assessment. Life-Cycle Initiative, United Nations Environment Programme and Society for Environmental Toxicology and Chemistry, Paris, France 2015.

VAN WEELDEN, Eline; MUGGE, Ruth; BAKKER, Conny. Paving the way towards circular consumption: exploring consumer acceptance of refurbished mobile phones in the Dutch market. **Journal of Cleaner Production**, v. 113, p. 743-754, 2016.

VIEIRA, Leticia; SERRAO-NEUMANN, Silvia; HOWES, Michael. Daring to build fair and sustainable urban food systems: A case study of alternative food networks in Australia. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, v. 45, n. 3, p. 344-365, 2021.

WACKERNAGEL, Mathis; REES, William. **Our ecological footprint: reducing human impact on the earth**. New society publishers, 1998.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). Circular Transition Indicators v2.0. Metrics for business, by business (2021). Disponível em: <https://www.wbcsd.org/contentwbc/download/11256/166026/1>. Acesso em 02 fev. 2022.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (WCED). Our common future. **Oxford: Oxford Press**, 1987.

YUAN, Zengwei; BI, Jun; MORIGUICHI, Yuichi. The circular economy: A new development strategy in China. **Journal of Industrial Ecology**, v. 10, n. 1-2, p. 4-8, 2006.

ZANGHELINI, Guilherme Marcelo *et al.* Comparative life cycle assessment of drinking straws in Brazil. **Journal of cleaner production**, v. 276, p. 123070, 2020.

ZIMEK, Martina *et al.* The third wave of LCA as the “decade of consolidation”. **Sustainability**, v. 11, n. 12, p. 3283, 2019.

ZINK, Trevor; GEYER, Roland. Circular economy rebound. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 593-602, 2017.

ZUCHELLA, Antonella; PREVITALI, Pietro. Circular business models for sustainable development: A “waste is food” restorative ecosystem. **Business Strategy and the Environment**, v. 28, n. 2, p. 274-285, 2019.

## APÊNDICE A – MATERIAL SUPLEMENTAR

### A.1 PREMISSAS DO ICV

- Todas os processos têm o mesmo desempenho técnico para o fluxo de referência;
- Sempre que possível, os conjuntos de dados regionalizados foram utilizados para a modelagem dos processos;
- O transporte de mercadorias foi modelado utilizando o *dataset transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 | Cutoff, U – RoW*; O transporte de funcionários foi modelado utilizando o *dataset transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 3 | Cutoff, U – GLO or transport, regular bus | Cutoff, U – GLO*;
- O transporte foi calculado com base na distância do local de produção/revenda até o restaurante. Quando essa informação estava indisponível no detalhe, foi utilizada a distância do local do fornecedor até o restaurante.
- Sempre que informações pontuais não estavam disponíveis, médias mensais ou faturas e notas fiscais foram utilizadas.
- O peso de alguns itens não foi disponibilizado pela organização reportada ou pelos fornecedores, nestes casos, os produtos e itens similares foram pesados ou foram feitas aproximações de acordo com dados de outros fornecedores.
- O peso de alguns vegetais e verduras foi aproximado usando um banco de dados nacional de peso/unidade desses itens (CEASA/CEAG).
- Substituições no Cenário 2: *Coconut oil* substituído por *Butter, from cow milk*; *Coconut milk* substituído por *Cow milk*; *Tofu* substituído por *Pork, chop, raw*; *Soybean, Soybean meal* substituído por *Chicken, breast, raw*; *Chickpea* substituído por *fish, marine*; *Tabbouleh (substituição de refeição similar)* substituído por *Beef, steak or beef steak*; entre outros; as proporções utilizadas na substituição seguiram o conselho de um terceiro profissional experiente no setor de serviços de alimentação;
- Substituições no Cenário 3: todas as substituições aplicadas ao Cenário 2; diminuição de 2/3 de *packaging glass, white*; 1/3 de *packaging glass, white* substituído por *packaging film*; 1/3 de *packaging glass, white* substituído por *kraft paper*; *packaging film and waste packaging paper* (enviado para reciclagem) agora enviado para aterro sanitário; Fim de Vida de todos os resíduos sólidos substituídos por *municipal solid waste, sanitary landfill* // exclusão de transportes para locais de compostagem e reciclagem e recálculo do tkm para transporte aterro; entre outros;

## A.2 PRINCIPAIS RESPONSÁVEIS PELOS IMPACTOS GERADOS DA AICV POR MÊS

**Tabela A2.1** – Principais responsáveis pelos impactos gerados por mês para o Cenário 1.

<b>Categoria de Impacto</b>	<b>Mês</b>	<b>Principal Responsável Pelos Impactos Gerados</b>	<b>Segundo Responsável pelos impactos gerados</b>
Uso de terra agrícola	Set	chickpea production (05.77%)	kraft paper (1.82%)
	Jul	chocolate croissant (2.30%)	dark chocolate (1.98%)
	Nov	dark chocolate (2,14%)	tabbouleh (2.09%)
Mudanças climáticas	Set	chickpea production (04.36%)	dark chocolate (1.78%)
	Jul	dark chocolate (3,30%)	chocolate croissant (2,38%)
	Nov	dark chocolate (5.08%)	chocolate croissant (1.05%)
Esgotamento de recursos fósseis	Set	chickpea production (4.46%)	liquefied petroleum gas (2.06%)
	Nov	liquefied petroleum gas (1.89%)	tabbouleh (1.70%)
	Jul	liquefied petroleum gas (1.83%)	tabbouleh (1.27%)
Eutrofização de água doce	Jul	fibre, cotton, organic (3.79%)	soap (2.15%)
	Set	chickpea production (3.39%)	kraft paper (2.29%)
	Jan	soap (2.02%)	fibre, cotton, organic (1.90%)
Toxicidade humana	Set	chickpea production (10.40%)	rice production (2.25%)
	Jul	rice production (2.41%)	kraft paper (2.04%)
	Nov	rice production (2.58%)	electricity (1.24%)
Eutrofização marinha	Set	chickpea production (12.33%)	tabbouleh (1.26%)
	Jul	chocolate croissant (2.13%)	dark chocolate (2.08%)
	Nov	dark chocolate (2.24%)	tabbouleh (1.69%)
Transformação de terra natural	Jul	dark chocolate (12.29%)	chocolate croissant (1.42%)
	Nov	dark chocolate (12.29%)	chocolate croissant (0,63%)
	Fev	dark chocolate (11.42%)	chocolate croissant (0,88%)
Acidificação terrestre	Set	chickpea production (16.81%)	tabbouleh (1.53%)
	Jul	dark chocolate (2.78%)	tabbouleh (1.53%)
	Nov	tabbouleh (2.04%)	chocolate croissant (1.23%)
Esgotamento de água doce	Set	tabbouleh (6.95%)	mushroom (1.81%)
	Nov	tabbouleh (9.26%)	pumpkin (1.68%)
	Out	tabbouleh (6.95%)	mushroom (0,88%)

**Tabela A2.2** – Principais responsáveis pelos impactos gerados por mês para o Cenário 2.

<b>Categoria de Impacto</b>	<b>Mês</b>	<b>Principal Responsável Pelos Impactos Gerados</b>	<b>Segundo Responsável pelos impactos gerados</b>
Uso de terra agrícola	Nov	beef (10.28%)	pork (0,93%)
	Set	beef (10.28%)	fish (1.16%)
	Jul	beef (7.71%)	pork (0,67%)
Mudanças climáticas	Set	beef (7.09%)	fish (3.41%)
	Nov	beef (9.45%)	dark chocolate (0.96%)
Esgotamento de recursos fósseis	Jul	beef (7.09%)	dark chocolate (0.89%)
	Set	fish (8.08%)	beef (3.71%)
	Nov	beef (4.94%)	pork (1.10%)
Eutrofização de água doce	Jul	beef (3.71%)	pork (0.78%)
	Set	fish (64.77%)	beef (1.37%)
	Nov	beef (1.83%)	pork (0.37%)
Toxicidade humana	Jul	beef (1.37%)	fibres, cotton (0.78%)
	Set	fish (5.43%)	beef (3.44%)
	Nov	beef (4.58%)	rice production (1.63%)
Eutrofização marinha	Jul	beef (3.44%)	rice production (1.52%)
	Set	fish (21.08%)	beef (5.15%)
	Nov	beef (6.87%)	pork (1.13%)
Transformação de terra natural	Jul	beef (5.15%)	pork (0.81%)
	Jul	dark chocolate (11.4%)	chocolate croissant (1.32%)
	Nov	dark chocolate (11.4%)	chocolate croissant (0.58%)
Acidificação terrestre	Fev	dark chocolate (10.67%)	chocolate croissant (0.81%)
	Nov	beef (10.83%)	pork (1.09%)
	Set	beef (8.12%)	fish (1.57%)
Esgotamento de água doce	Jul	beef (8.12%)	pork (0.78%)
	Set	beef (5.70%)	chicken (4.38%)
	Nov	beef (7.60%)	pork (2.21%)
	Out	beef (5.70%)	pork (2.05%)

**Tabela A2.3** – Principais responsáveis pelos impactos gerados por mês para o Cenário 3.

<b>Categoria de Impacto</b>	<b>Mês</b>	<b>Principal Responsável Pelos Impactos Gerados</b>	<b>Segundo Responsável pelos impactos gerados</b>
Uso de terra agrícola	Nov	beef (10.43%)	pork (0.95%)
	Set	beef (7.82%)	fish (2.35%)
	Jul	beef (7.82%)	pork (0.68%)
Mudanças climáticas	Set	beef (6.70%)	fish (6.45%)
	Nov	beef (8.94%)	dark chocolate (0,91%)
Esgotamento de recursos fósseis	Jul	beef (6.70%)	dark chocolate (0,84%)
	Set	fish (25,55%)	beef (2.94%)
	Nov	beef (3.91%)	pork (0.87%)
Eutrofização de água doce	Out	beef (2.94%)	pork (0.81%)
	Set	fish (78.04%)	beef (0.82%)
	Jul	beef (0.82%)	fibre, cotton (0.47%)
Toxicidade humana	Nov	beef (1.10%)	pork (0.22%)
	Set	fish (12.94%)	beef (3%)
	Nov	beef (4%)	rice production (1.42%)
Eutrofização marinha	Jul	beef (4%)	rice production (1.32%)
	Set	fish (38,01%)	beef (4,11%)
	Nov	beef (5.48%)	pork (0.90%)
Transformação de terra natural	Jul	beef (4.11%)	pork (0.65%)
	Set	fish (9,17%)	dark chocolate (3.78%)
	Jul	dark chocolate (10,79%)	chocolate croissant (1.25%)
Acidificação terrestre	Nov	dark chocolate (10,79%)	chocolate croissant (0.55%)
	Set	beef (7.78%)	fish (6.01%)
	Nov	beef (10.37%)	pork (1.04%)
Esgotamento de água doce	Jul	beef (7.78%)	pork (0.74%)
	Set	beef (5.87%)	chicken (4.51%)
	Nov	beef (7.83%)	pork (2.28%)
	Out	beef (5.87%)	pork (2.12%)

## A.3 ICV DETALHADO

Tabela A3 – ICV detalhado.

<b>Produto</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>	<b>Dataset</b>
almonds flour	52.68	Kg	almond production   almond   Cutoff, U - RoW
almonds flour	21.34	Kg	market for almond   almond   Cutoff, U - GLO
amaranth flour	10	Kg	Amaranth, consumption mix - FR
arborio rice	321.11	Kg	rice production, basmati   rice, basmati   Cutoff, U - RoW
balsamic vinegar	1.00	Kg	Vinegar, balsamic, processed in FR   Ambient (average)   Already packed - Glass   at distribution - FR
balsamic vinegar glass packaging	0.38	Kg	packaging glass production, white   packaging glass, white   Cutoff, U - RoW
balsamic vinegar glass packaging	0.38	Kg	market for packaging glass, white   packaging glass, white   Cutoff, U - GLO
bamboo toothbrush	2.285	Kg	wood chips, at farm/kg - FR
banana	4.77	Kg	banana production   banana   Cutoff, U - RoW
bean	269.97	Kg	Red kidney bean, consumption mix - FR
beer	31.16	Kg	Beer, special (5-6° alcohol), processed in FR   Chilled   Glass   at distribution - FR
biological yeast	0.50	Kg	Baking powder or raising agent, processed in FR   Ambient (long)   Paper   at distribution - FR
biological yeast	1.000	Kg	Baking powder or raising agent, processed in FR   Ambient (long)   Paper   at distribution - FR
black olive	1.80	Kg	Olives, consumption mix - FR
black olives	5.40	Kg	Mix of 4 spices, processed in FR   Ambient (long)   Glass   at distribution - FR
black popcorn	14.27	Kg	Pop-corn or oil popped maize, salted, processed in FR   Ambient (long)   Cardboard   at distribution - FR
black sesame	2.00	Kg	sesame seed production   sesame seed   Cutoff, U - RoW
boat freight of paper packaging	16.80	TKm	market for transport, freight, sea, container ship   transport, freight, sea, container ship   Cutoff, U
bread stuffed pizza	15.40	Kg	Pizza, vegetables or pizza 4 seasons, at plant - FR
brioche	0.11	Kg	Brioche or Vienna bread, processed in FR   Ambient (short)   LDPE   at distribution - FR

broccoli	2.01	Kg	broccoli production   broccoli   Cutoff, U - GLO
brocolis snack	0.90	Kg	broccoli production   broccoli   Cutoff, U - GLO
brown rice	14.00	Kg	rice production, basmati   rice, basmati   Cutoff, U - RoW
brown rice	10.000	Kg	rice production, basmati   rice, basmati   Cutoff, U - IN
brown sugar	6.000	Kg	sugarcane processing, modern annexed plant   sugar, from sugarcane   Cutoff, U - BR
cabbage	21.47	Kg	Green cabbage, raw, processed in FR   Ambient (average)   No packaging   at distribution - FR
cabbage	145.33	Kg	Green cabbage, consumption mix - FR
carrot	72.87	Kg	carrot production   carrot   Cutoff, U - RoW
cashew nut	24.130	Kg	Cashew nut, consumption mix - FR
cassava	176.56	Kg	Cassava or manioc, roots, raw, processed in FR   Chilled   No packaging   at distribution - FR
cassava flour extra fine 1kg tupa	5.000	Kg	Cassava, consumption mix - FR
chickpea	1595.00	Kg	chickpea production   chickpea   Cutoff, U - RoW
chickpeas	10.00	Kg	market for chickpea   chickpea   Cutoff, U - GLO
chimichurri	1.26	Kg	Turmeric, powder, processed in FR   Ambient (long)   Glass   at distribution - FR
chimichurri seasoning	10.09	Kg	Mix of 4 spices, processed in FR   Ambient (long)   Glass   at distribution - FR
chinese broccoli	135.78	Kg	broccoli production   broccoli   Cutoff, U - GLO
chives seasoning	4.10	Kg	Mix of 4 spices, processed in FR   Ambient (long)   Glass   at distribution - FR
chocolate (50% cocoa)	11.00	Kg	Dark chocolate bar, more than 40% cocoa, for cooking, processed in FR   Ambient (average)   Cardboard   at distribution - FR
chocolate (70% cocoa)	11.00	Kg	Dark chocolate bar, more than 70% cocoa, processed in FR   Ambient (average)   Cardboard   at distribution - FR
chocolate 50% cocoa	16.50	Kg	Dark chocolate bar, more than 40% cocoa, for cooking, processed in FR   Ambient (average)   Cardboard   at distribution - FR
chocolate 70% cocoa	92.47	Kg	Dark chocolate bar, less than 70% cocoa, processed in FR   Ambient (average)   Cardboard   at distribution - FR
chocolate chip 50% cocoa diet	23.10	Kg	Dark chocolate bar, more than 40% cocoa, for cooking, processed in FR   Ambient (average)   Cardboard   at distribution - FR
chocolate croissant	28.08	Kg	Chocolate croissant, puff pastry, from bakery, processed in FR   Ambient (short)   PS   at distribution - FR
chocolate croissant	6.12	Kg	Chocolate croissant, prepacked, processed in FR   Ambient (short)   PS   at distribution - FR

coconut milk	28.20	Kg	Coconut milk or coconut cream, processed in FR   Chilled   Cardboard   at distribution - FR
coconut milk	520.00	Kg	Coconut milk or coconut cream, processed in FR   Chilled   Cardboard   at distribution - FR
coconut milk glass packaging	21.000	Kg	packaging glass production, white   packaging glass, white   Cutoff, U - RoW
coconut oil	25.00	Kg	coconut oil production, crude   coconut oil, crude   Cutoff, U - RoW
coconut oil extra virgin	25.00	Kg	Crude coconut oil, from Philippines, at feed plant, FR U/kg - GLO
coconut soap	19.80	Kg	market for soap   soap   Cutoff, U - GLO
coconut soap	1.00	Kg	soap production   soap   Cutoff, U - RoW
coffee	3.00	Kg	coffee green bean production, arabica   coffee, green bean   Cutoff, U - BR
corn meal	10,00	Kg	Maize/corn starch, processed in FR   Ambient (average)   Cardboard   at distribution - FR
cornflour	15.73	Kg	Wheat flour, type 110, processed in FR   Ambient (average)   Already packed - LDPE   at distribution - FR
cornflour	0.25	Kg	Maize/corn starch, processed in FR   Ambient (average)   Cardboard   at distribution - FR
cornflour	0.851	Kg	Maize/corn flour, processed in FR   Ambient (average)   Paper   at distribution - FR
cornflour maize flour	1.00	Kg	market for maize flour   maize flour   Cutoff, U - RoW
croissant	6.92	Kg	Croissant, ordinary, from bakery, processed in FR   Ambient (short)   PS   at distribution - FR
curly lettuce	5.72	Kg	lettuce361 production   lettuce   Cutoff, U - GLO
date	5.00	Kg	Date, pulp and peel, dried, processed in FR   Ambient (average)   LDPE   at distribution - FR
dehydrated garlic	0.25	Kg	Garlic, consumption mix - FR
disinfectant detergent	110.00	Kg	Generic detergent-disinfectant, at plant - RER
electricity	23,022.36	kWh	electricity voltage transformation from medium to low voltage   electricity, low voltage   Cutoff, U - BR-Southern grid
employee transport	5.80	Km	market for transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 3   transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 3   Cutoff, U - GLO
employee transport	61.70	PKm	market for transport, regular bus   transport, regular bus   Cutoff, U - GLO
extra virgin olive oil	45.00	Kg	Olive oil, extra virgin, processed in FR   Ambient (long)   PET   at distribution - FR
fishing nets sponge (nylon)	0.500	Kg	Culture rope, Nylon
freight of beer	2.11	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW

freight of bread and various flours	0.03	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
freight of chestnuts	25.67	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
freight of chocolates	1.76	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
freight of cleaning products	97.95	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
freight of coopafre	5.680	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
freight of dishwashing loofah and products	0.04	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
freight of fried kebab	21.22	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
freight of grains	228.81	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
freight of kombucha	1.86	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
freight of kombucha	0.08	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
freight of kombucha and tonic soda	66.97	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
freight of menstrual collector	0.70	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
freight of mushrooms	13.43	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
freight of mushrooms	19.140	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
freight of organic fruits and vegetables	28.01	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
freight of organic vegetables and greens	3.79	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW

freight of packaging	85.82	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
freight of packaging	31.34	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
freight of packaging	0.68	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
freight of packaging and others	0.49	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
freight of peanuts	20.12	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
freight of snacks	1.90	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
freight of tofu	0.64	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
freight of toothbrush	3.62	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
freight of vegan snacks	2.99	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
freight of vegetable, greens and others	39.41	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
freight of vegetables and greens	58.36	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
gas	319.53	m <sup>3</sup>	market for liquefied petroleum gas   liquefied petroleum gas   Cutoff, U - BR
glass jar	79.25	Kg	market for packaging glass, white   packaging glass, white   Cutoff, U - GLO
glass jar - packaging	197.57	Kg	packaging glass production, white   packaging glass, white   Cutoff, U - RoW
glass jar and bowl - packaging	63.39	Kg	packaging glass production, white   packaging glass, white   Cutoff, U - RoW
glass packaging coconut milk	84.60	Kg	market for packaging glass, white   packaging glass, white   Cutoff, U - GLO
glass packaging coconut milk	16.92	Kg	packaging glass production, white   packaging glass, white   Cutoff, U - RoW
glass packaging kombucha	64.51	Kg	packaging glass production, white   packaging glass, white   Cutoff, U - RoW
glass packaging olive oil	12.54	Kg	packaging glass production, white   packaging glass, white   Cutoff, U - RoW
glass packaging organic tonic soda	15.87	Kg	market for packaging glass, white   packaging glass, white   Cutoff, U - GLO
granulated soybean	10.00	Kg	market for soybean meal   soybean meal   Cutoff, U - BR
grape juice full glass packaging	1.80	Kg	packaging glass production, white   packaging glass, white   Cutoff, U - RoW
grated coconut dehydrated	6.00	Kg	market for coconut, dehusked   coconut, dehusked   Cutoff, U - GLO

green cabbage	11.20	Kg	cabbage white production   cabbage white   Cutoff, U - RoW
green parsley seasoning	11.10	Kg	Mix of 4 spices, processed in FR   Ambient (long)   Glass   at distribution - FR
guava croissant	6.72	Kg	Croissant, butter, from bakery, processed in FR   Ambient (short)   PS   at distribution - FR
guava paste croissant	2.76	Kg	Chocolate croissant, puff pastry, from bakery, processed in FR   Ambient (short)   PS   at distribution - FR
ipa beer	10.38	Kg	Beer, strong (>8° alcohol), processed in FR   Chilled   Glass   at distribution - FR
jaca snack	0.90	Kg	Fruits puree, without sugar added, processed in FR   Chilled   PS   at distribution - FR
kebab from zucchini curd filling of vegan	72.00	Kg	Vegetables (3-4 types), mashed, at plant/FR U
kebab from zucchini vegan	2,136.00	Kg	Tabbouleh, prepacked, processed in FR   Chilled   PS   at distribution - FR
kombucha	41.94	Kg	Rice-based drink, plain, processed in FR   Chilled   Cardboard   at distribution/FR
kombucha packaging glass	31.48	Kg	market for packaging glass, white   packaging glass, white   Cutoff, U - GLO
landfill waste	600.00	Kg	treatment of municipal solid waste, sanitary landfill   municipal solid waste   Cutoff, U - RoW
leek	7.18	Kg	Leek, raw, processed in FR   Ambient (average)   No packaging   No preparation   at consumer - FR
leek	110.94	Kg	Leek, raw, processed in FR   Ambient (average)   No packaging   at distribution - FR
lemon	9.14	Kg	lemon production - ES
lemon	4.81	Kg	lemon production   lemon   Cutoff, U - RoW
lemon	37.62	Kg	lemon production   lemon   Cutoff, U - RoW
lentils	6.00	Kg	Lentils, consumption mix - FR
loofah sponge	24.69	Kg	market for fibre, cotton, organic   fibre, cotton, organic   Cutoff, U - GLO
maize flour	1.70	Kg	market for maize flour   maize flour   Cutoff, U - RoW
menstrual collector	0.15	Kg	market for silicone product   silicone product   Cutoff, U - RER
mix ready for bread	5.42	Kg	Bread, wholemeal or integral bread (made with flour type 150), processed in FR   Ambient (short)   Paper   at distribution - FR
molasses	9.35	Kg	Molasses, from sugarcane, from Brazil, at feed plant, FR U/kg - GLO
multipurpose brush	0.20	Kg	market for polystyrene, general purpose   polystyrene, general purpose   Cutoff, U - GLO
mustard	18.00	Kg	Mustard sauce prepacked, processed in FR   Chilled   PVC   at distribution - FR
napkin	17.40	Kg	market for tissue paper   tissue paper   Cutoff, U - GLO
natural loofah sponge	8.23	Kg	fibre production, cotton, organic, ginning   fibre, cotton, organic   Cutoff, U - RoW
nylon sponge	1.00	Kg	nylon 6 production   nylon 6   Cutoff, U - RoW

oat grain	10.00	Kg	market for oat grain   oat grain   Cutoff, U - GLO
olive black without core	3.60	Kg	olive production   olive   Cutoff, U - RoW
olive oil	273.09	Kg	Olive oil, extra virgin, processed in FR   Ambient (long)   PET   at distribution - FR
olive oil extra virgin	30.00	Kg	Olive oil, extra virgin, processed in FR   Ambient (long)   PET   at distribution - FR
onion	51.49	Kg	onion production   onion   Cutoff, U - RoW
onion	7.90	Kg	onion production   onion   Cutoff, U - RoW
organic avocado	1.28	Kg	avocado production   avocado   Cutoff, U - GLO
organic beetroot	17.060	Kg	Beetroot, consumption mix - FR
organic cabbage	62.000	Kg	cabbage red production   cabbage red   Cutoff, U - GLO
organic cauliflower	45.000	Kg	cauliflower production   cauliflower   Cutoff, U - GLO
organic corn flour	1.07	Kg	Maize flour, at industrial mill - FR
organic curly lettuce	1.66	Kg	lettuce361 production   lettuce   Cutoff, U - GLO
organic eggplant	3.00	Kg	Eggplant, consumption mix - FR
organic garlic	4.00	Kg	Garlic, consumption mix - FR
organic ginger	6.23	Kg	Ginger, consumption mix - FR
organic green bell pepper	1.04	Kg	bell pepper production, open field   bell pepper   Cutoff, U - RoW
organic lemon	2.98	Kg	market for lemon   lemon   Cutoff, U - GLO
organic mango	1.35	Kg	mango production   mango   Cutoff, U - BR
organic melon	4.42	Kg	melon production   melon   Cutoff, U - GLO
organic orange	9.22	Kg	orange production, fresh grade   orange, fresh grade   Cutoff, U - RoW
organic papaya	7.43	Kg	papaya production   papaya   Cutoff, U - GLO
organic pineapple	5,10	Kg	pineapple production   pineapple   Cutoff, U - GLO
organic potato	117.92	Kg	potato production, organic   potato, organic   Cutoff, U - RoW
organic rice flour white	80.00	Kg	Rice flour, processed in FR   Ambient (average)   Paper   at distribution - FR
organic tomato	100.05	Kg	tomato production, fresh grade, open field   tomato, fresh grade   Cutoff, U - RoW
organic waste	875.90	Kg	treatment of biowaste, industrial composting   biowaste   Cutoff, U - RoW
organic wheat flour	2.00	Kg	market for wheat flour   wheat flour   Cutoff, U - RoW
organic yam	9.02	Kg	Yam, consumption mix - FR
organica soybean	30.00	Kg	soybean production   soybean   Cutoff, U - BR-PR

palm heart	24.03	Kg	Palm heart, canned, drained, processed in FR   Ambient (average)   Steel   at distribution - FR
palm heart packaging glass	2.57	Kg	packaging glass production, white   packaging glass, white   Cutoff, U - RoW
palm packaging glass	3.86	Kg	market for packaging glass, white   packaging glass, white   Cutoff, U - GLO
paper 500ml pot + cover pot 500ml	0.69	Kg	kraft paper production   kraft paper   Cutoff, U - RoW
paper bag	148.61	Kg	packaging film, PVC, at plant   Paper bag, 1 kg capacity, at plant (ACYVIA) - RER
paper bag	65.04	Kg	market for paper, woodcontaining, lightweight coated   paper, woodcontaining, lightweight coated   Cutoff, U - RoW
paper bag and packaging	135.49	Kg	market for kraft paper, unbleached - GLO
paper lunch box packaging	18.72	Kg	kraft paper production   kraft paper   Cutoff, U - RER
paper packaging	320.09	Kg	market for kraft paper   kraft paper   Cutoff, U - RoW
paris mushroom	208.15	Kg	Mushroom, consumption mix - FR
peanut butter	153.75	Kg	Peanut butter or peanut paste, processed in FR   Ambient (long)   PVC   at distribution - FR
pinto beans	11.22	Kg	fava bean production, organic   fava bean, organic   Cutoff, U - RoW
pizza bread	1.76	Kg	Pizza base, cooked, processed in FR   Chilled   LDPE   at distribution - FR
plastic bag	1.00	Kg	Plastic bag (15kg)
popcorn	4.23	Kg	Pop-corn or popped maize, with caramel, processed in FR   Ambient (long)   Cardboard   at distribution - FR
potato	23.51	Kg	potato production, organic   potato, organic   Cutoff, U - RoW
potato bread	3.30	Kg	market for potato starch - GLO
potato bread	14.19	Kg	Bread, wholemeal or integral bread (made with flour type 150), at plant - FR
potato bread and croissant	3.96	Kg	Bread, home-made, with flour for home-made bread preparation, at plant - FR
potato starch	25.00	Kg	market for potato starch   potato starch   Cutoff, U - GLO
pumpkin cabotia	130.86	Kg	Pumpkin (cucurbita moschata), consumption mix - FR
raw golden flaxseed flour	12.00	Kg	Flaxseed, brown, processed in FR   Ambient (long)   LDPE   at distribution - FR
raw sugar	65.00	Kg	market for sugar, from sugarcane   sugar, from sugarcane   Cutoff, U - GLO
rice	1.12	Kg	market for rice, basmati   rice, basmati   Cutoff, U - GLO
rice	2.61	Kg	market for rice, basmati   rice, basmati   Cutoff, U - GLO
rice	0.96	Kg	rice production, basmati   rice, basmati   Cutoff, U - RoW
rice noodle	1.00	Kg	Dried pasta, wholemeal, raw, processed in FR   Chilled   LDPE   at distribution - FR
roasted peanuts	8.00	Kg	peanut production   peanut   Cutoff, U - RoW

sanitary water	5.00	Kg	market for sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state   sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state   Cutoff, U - RoW
sauce tabasco pepper	0.06	Kg	Sauce, pepper, prepacked, at plant/FR U
sea salt refined	40.00	Kg	market for salt   salt   Cutoff, U - GLO
sea salt refined	20.00	Kg	salt production from seawater, evaporation pond   salt   Cutoff, U - GLO
sesame white peeled	1.50	Kg	market for sesame seed   sesame seed   Cutoff, U - GLO
shipping to composting	2.49	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
shipping to landfill	26.40	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
shipping to recycling	1.54	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
shoestring potatoes	1.00	Kg	Potato crisps, processed in FR   Ambient (long)   LDPE   at distribution - FR
smoked paprika	3.00	Kg	Paprika, processed in FR   Ambient (long)   Glass   at distribution - FR
soy sauce	16.00	Kg	Soy sauce, prepacked, processed in FR   Chilled   PVC   at supermarket - FR
soybean smoked bacon	40.00	Kg	market for soybean meal   soybean meal   Cutoff, U - BR
sponge	8.23	Kg	market for fibre, cotton, organic   fibre, cotton, organic   Cutoff, U - GLO
stainless sponge	8.23	Kg	market for steel, unalloyed   steel, unalloyed   Cutoff, U - GLO
stuffed brocolis bread	4.44	Kg	broccoli production   broccoli   Cutoff, U - GLO
sugar	56.00	Kg	sugarcane processing, modern annexed plant   sugar, from sugarcane   Cutoff, U - BR
sun dried tomato	21.00	Kg	Tomato, dried, in oil, processed in FR   Ambient (average)   Glass   at supermarket - FR
sun dried tomato packing glass	3.86	Kg	market for packaging glass, white   packaging glass, white   Cutoff, U - GLO
sun dried tomato packing glass	1.29	Kg	packaging glass production, white   packaging glass, white   Cutoff, U - RoW
sweet corn	2.00	Kg	Sweet corn, canned, drained, processed in FR   Ambient (average)   Steel   at distribution - FR
sweet potato	41.72	Kg	Sweet potato, consumption mix - FR
tahini	15.00	Kg	Tahini (sesame paste), processed in FR   Ambient (long)   LDPE   at distribution - FR
tahini sesame paste	0.32	Kg	Tahini (sesame paste), processed in FR   Ambient (long)   LDPE   at distribution - FR
tahini sesame paste glass packaging	0.20	Kg	market for packaging glass, white   packaging glass, white   Cutoff, U - GLO
thyme	0.75	Kg	Thyme, dried, consumption mix - FR
tofu	559.00	Kg	tofu production   tofu   Cutoff, U - RoW
toilet paper	11.40	Kg	tissue paper production   tissue paper   Cutoff, U - RoW

toilet paper	3.00	Kg	market for tissue paper   tissue paper   Cutoff, U - GLO
tomato	148.19	Kg	Tomato, organic, greenhouse production, national average, at greenhouse - FR
tomato sauce	0.32	Kg	Tomato sauce, with onions, prepacked, processed in FR   Chilled   PVC   at distribution - FR
tonic soda	205.64	Kg	Fruit soft drink, carbonated (10-50% of fruit juice), with sugar, at plant - FR
tonic soda glass packaging	43.10	Kg	packaging glass production, white   packaging glass, white   Cutoff, U - RoW
traditional coffee	1.00	Kg	coffee green bean production, arabica   coffee, green bean   Cutoff, U - BR
truck freight of paper packaging	0.48	TKm	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3   Cutoff, U - RoW
turmeric	0.50	Kg	Turmeric, consumption mix - FR
vanilla extract	14.40	Kg	Vanilla, aqueous extract, processed in FR   Ambient (long)   PVC   at distribution - FR
vegan bacon	26.70	Kg	soybean meal and crude oil production   soybean meal   Cutoff, U - BR
vegan smoked bacon	32.00	Kg	soybean meal and crude oil production   soybean meal   Cutoff, U - BR
vienna bread	0.22	Kg	Brioche or Vienna bread, at plant - FR
vinegar	5.40	Kg	Vinegar, processed in FR   Ambient (average)   Already packed - Glass   at distribution - FR
water	142.67	m <sup>3</sup>	water, BR
white banana	56.59	Kg	banana production   banana   Cutoff, U - RoW
white cassava flour	0.56	Kg	wheat production, organic   wheat grain, organic   Cutoff, U - RoW
white cassava flour	77.54	Kg	Cassava or manioc, roots, raw, processed in FR   Chilled   No packaging   at distribution - FR
white wine	0.75	Kg	White wine, consumption mix - FR
white wine glass packaging	0.40	Kg	market for packaging glass, white   packaging glass, white   Cutoff, U - GLO
whole grape juice	3.00	Kg	Mixed fruits juice, pure juice, processed in FR   Chilled   HDPE   at distribution - FR
yellow mustard sauce	3.60	Kg	Mustard sauce prepacked, at plant - FR
yellow mustard sauce	3.60	Kg	Mustard sauce prepacked, processed in FR   Chilled   PVC   at packaging - FR